



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Filosofía y Letras

**Los dilemas de la urbanización en zonas áridas:
una visión de San Luis Potosí desde la hidrogeología urbana
y la geografía regional**

Tesis que para obtener el grado de Maestro en Geografía (Ambiental)

Presenta: Sandra E. Martínez



FILOSOFIA
Y LETRAS
UNAM

FAC. DE FILOSOFIA Y LETRAS



DIVISION DE
ESTUDIOS DE POSGRADO

México, D.F.

2005

m. 347130



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

Agradecimientos	1
Introducción	2
1. El agua en la cuenca de San Luis Potosí	
1.1. Características generales	5
1.2. Marco litológico estructural	7
1.3. Fuentes de agua superficial	10
1.4. Cuenca superficial y cuenca subterránea	11
1.4.1. Consideraciones generales	11
1.4.2. Teoría de los sistemas de flujo y relación hídrica entre cuencas superficial y subterránea	12
1.5. Marco hidrogeológico de referencia	16
1.5.1. Definición de unidad hidrogeológica y basamento	16
1.5.2. Funcionamiento del agua subterránea en la cuenca, zonas de recarga y descarga	18
2. Urbanización en zonas áridas: Una visión de San Luis Potosí	
2.1. Tendencias de asentamiento de la población: proceso de urbanización y fortalecimiento de ciudades medias	21
2.2. Crecimiento y distribución de la población urbana en las regiones áridas de México: evolución a una sociedad dependiente del agua subterránea	25
2.3. Etapas y modalidades de la evolución urbana de la ciudad de San Luis Potosí	
2.3.1. Primera etapa: fines del siglo XVI a fines del siglo XIX. Del auge a la decadencia de la minería y el surgimiento de una economía rudimentaria diversificada	30
2.3.1.1 Visión geográfica, económica y demográfica	30
2.3.1.2. Las rutas del comercio	35

2.3.2. <i>Segunda Etapa: fines del siglo XIX a mediados del siglo XX.</i> <i>La inversión extranjera, la industrialización y el auge del comercio</i>	36
2.3.2.1 <i>Visión geográfica, económica y demográfica</i>	36
2.3.2.2 <i>Construcción de la red troncal</i>	39
2.3.3. <i>Tercera etapa: mediados del siglo XX a la actualidad.</i> <i>La concentración de la población y las actividades</i>	40
2.3.3.1 <i>Visión geográfica, económica y demográfica</i>	40
2.3.3.2. <i>Las rutas estratégicas de vinculación</i>	44

3. Cambios espaciales: conformación de la zona metropolitana y su expansión

3.1. <i>Expansión y conurbación</i>	47
3.1.1. <i>Cambios espaciales, proceso de descentralización y segregación urbana</i>	51
3.2. <i>Expansores de la zona metropolitana</i>	56
3.2.1. <i>Vialidades regionales</i>	56
3.2.2. <i>Descentralización de la industria y los servicios</i>	57
3.2.3. <i>Abastecimiento de agua y drenaje</i>	59

4. Agua subterránea y urbanización: evolución espacial y temporal de los procesos y sus efectos en la cuenca

4.1. <i>Abastecimiento de agua y disposición de agua residual en las etapas de urbanización</i>	67
4.1.1. <i>Primera etapa: Aprovechamiento conjunto de recursos superficiales y subterráneo somero</i>	69
4.1.2. <i>Segunda Etapa: Necesidad creciente, desarrollo de obras de infraestructura y exploración del subsuelo profundo</i>	72
4.1.3. <i>Tercera etapa: Desarrollo del agua subterránea profunda</i>	73
4.2. <i>Procesos y efectos de la urbanización y su evolución</i>	78
4.2.1. <i>Contaminación por disposición de agua residual</i>	79
4.2.1.1. <i>Contaminación del acuífero somero</i>	79

4.2.1.2. Impacto al acuífero profundo	80
4.2.1.3. Filtraciones en la red de abastecimiento	81
4.2.1.4. Efectos a la salud	83
4.2.2. <i>Consecuencias de la extracción intensiva y construcción deficiente de pozos</i>	85
4.2.2.1. Descenso del nivel de agua subterránea	85
4.2.2.2. Inducción de agua natural con fluoruro	87
4.2.2.3. Efectos subyacentes de la calidad de agua de abastecimiento	91
4.2.2.4. Efectos de la exposición al fluoruro	96
Conclusiones	102
Bibliografía citada	111

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Localización de la zona de estudio	6
Figura 1.2. Distribución del flujo subterráneo. Efectos y manifestaciones de flujos de gravedad en una región hidrológica	15
Figura 1.3. Marco Hidrogeológico de la Cuenca de San Luis Potosí	18
Figura 2.1. Porcentaje de población urbana por tamaño del asentamiento	24
Figura 2.2. Crecimiento de la población urbana en las zonas áridas de México Período 1900-1990	28
Figura 2.3. Población urbana 1900-1990 por numero y tamaño de localidades	28
Figura 2.4. Distribución de población urbana en zonas áridas por numero y tamaño de localidades 1990	29
Figura 2.5. Corema del proceso de conformación de la ciudad y su área de influencia en el largo plazo (S.XVI-S.XX)	46
Figura 3.1. Sectorización del área urbana	49
Figura 3.2. Crecimiento urbano zona metropolitana de San Luis Potosí – Soledad de Graciano Sánchez	52
Figura 3.3. Ubicación de pozos profundos y clasificación por usos. Acuífero de San Luis Potosí	62
Figura 4.1. Evolución del abastecimiento y descarga en las etapas de urbanización	71
Figura 4.2. Vivienda según disponibilidad de agua entubada y alcantarillado, 1970-1995 Municipios de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez	76
Figura 4.3. Zonas de descarga de aguas residuales y plantas de tratamiento	77
Figura 4.4. Relación fluoruro, temperatura y profundidad en pozos de la Zona Metropolitana	90
Figura 4.5. Concentración de fluoruro (mg/l) en agua de garrafón – Evolución Ciudad de San Luis Potosí – 1998-2000	93
Figura 4.6. Países con fluorosis endémica debido al exceso de fluoruros en agua de bebida	96

Figura 4.7. Niveles de riesgo con base en el grado de severidad de fluorosis dental y niveles de concentración de fluoruro en agua de grifo y pozos municipales	99
Figura 4.8. Relación temporal del abastecimiento y eliminación de agua residual	101

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Relación temporal naturaleza sociedad de los procesos regionales y urbanos	45
Tabla 3.1. Evolución de la población y porcentaje de participación estatal	47
Tabla 3.2. Población y tasas de crecimiento	48
Tabla 3.3. Evolución de la PEA por sector	58
Tabla 3.4. Usos de agua subterránea en la Cuenca de San Luis Potosí	61
Tabla 3.5. Evolución de la PEA en Zona Metropolitana y localidades próximas	64
Tabla 4.1. Fuentes de abastecimiento de la Ciudad de SLP 1912-1998 Usos doméstico, comercial y municipal	75
Tabla 4.2. Valores medios de calidad del agua residual para plantas de tratamiento Proyectadas	82
Tabla 4.3. Relación de concentración del fluoruro, temperatura del agua y profundidad de pozos	89
Tabla 4.4. Concentración de fluoruro (mg/l) en agua de garrafón Ciudad de San Luis Potosí – 1998-2000	93
Tabla 4.5. Niveles de fluoruro en jugos embotellados colectados en San Luis Potosí	95
Tabla 4.6. Niveles de fluoruro en refrescos de diferentes compañías localizadas en San Luis Potosí	95
Tabla 4.7. Prevalencia y severidad de fluorosis dental en áreas de riesgo	99

Agradecimientos

Expreso mi profundo agradecimiento a la Secretaría de Relaciones Exteriores de México por el apoyo económico otorgado para la obtención de los créditos de la maestría y al Dr. Javier Delgado, quién a través del Proyecto "Interfase rural-urbana en la cuenca alta del Lerma, hacia una metodología unificada del análisis ambiental y ciencias sociales", (SEMARNAT-2002-c01-1430), Instituto de Geografía UNAM, apoyó económicamente la realización de la presente tesis. De la misma forma, agradezco a la Municipalidad de la Ciudad de La Rioja-Argentina por el apoyo económico inicial.

Deseo expresar mi reconocimiento al Instituto de Geografía de la UNAM, a su ex Director Dr. José Luis Palacios, al presente Director Dr. Adrián Guillermo Aguilar, personal académico y administrativo. Doy mi gratitud a quienes me facilitaron información para el desarrollo de la tesis:

Gerencia Estatal de San Luis Potosí, Comisión Nacional del Agua.

Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Comisión Estatal de Agua Potable y Alcantarillado – San Luis Potosí

Secretaría de Salud del Estado de San Luis Potosí.

Secretaría de Desarrollo Económico del Estado de San Luis Potosí.

Secretaría de Desarrollo Urbano, Vivienda y Obras Públicas del Estado de San Luis Potosí

Introducción

El agua subterránea desempeña un papel fundamental para el beneficio social y económico de muchas zonas urbanas del mundo en desarrollo, especialmente en zonas áridas. Las estadísticas, si bien son incompletas, señalan que en América Latina más de 150 millones de personas dependen directa o indirectamente de manantiales, pozos y norias (Foster *et al*, 2001).

El notable desarrollo del agua subterránea desde mediados del siglo pasado, está asociado con las crecientes necesidades derivadas del proceso de urbanización, de la concentración de población y de la economía; y con los aspectos tecnológicos que lo hicieron posible. En el caso de México este fenómeno es notable y cambia el concepto que asocia a las zonas áridas con pobreza y escasez. A su vez, al inicio de la urbanización acelerada, la estructura urbana de las ciudades de la región es muy incipiente y sin capacidad para absorber a la nueva población, generando impactos ambientales y sociales dentro de su ámbito urbano y en la periferia. Para llegar a comprender los procesos que intervienen y sus tendencias, se requiere del tratamiento simultáneo de las variables socioeconómicas y físicas que evolucionan y se modifican con el tiempo.

A pesar de las relaciones existentes entre los procesos sociales y físicos, los enfoques disciplinarios se siguen tratando por separado. Por el lado de la hidrogeología urbana se trata el conocimiento del flujo de agua subterránea, la recarga, uso y calidad del agua, gestión e impactos a la ingeniería geológica con relación a los acuíferos situados en áreas urbanas y periurbanas (Custodio, 2004). Desde la investigación urbana debido a los problemas del crecimiento caótico, comenzaron a tomar relevancia las cuestiones ambientales relacionadas con la calidad del aire, el abastecimiento de agua, la eliminación de los desechos industriales y domésticos y su tratamiento (Ward, 1990; Schteingart y D'Andrea, 1991). La dificultad de incorporar los elementos socioeconómicos a los análisis de agua subterránea plantea la necesidad de un primer acercamiento, que en este trabajo se aplica al caso de la ciudad de San Luis Potosí donde más del 90% del total de agua que abastece la zona metropolitana proviene de agua subterránea.

El objetivo central de la tesis obedece a la necesidad de integración de procesos hidrogeológicos y socioeconómicos en el espacio local y regional, para establecer los efectos de la urbanización sobre el agua subterránea, identificar los ámbitos espaciales con mayor afectación social y ambiental y establecer las tendencias urbanas y de abastecimiento de agua.

En el *Capítulo 1* se analizan los elementos físicos de la zona de estudio que condicionan la existencia y el funcionamiento del recurso hídrico superficial y especialmente el subterráneo. El marco hidrogeológico se presenta con base en la teoría de los sistemas de flujo que plantea la falta de correspondencia entre la cuenca superficial y la subterránea.

El *Capítulo 2* incluye los fundamentos de la importancia que adquieren las ciudades intermedias en el contexto del proceso de urbanización global y nacional. Una revisión histórica regional y local, a partir de la fundación de San Luis Potosí, permite diferenciar tres etapas en la conformación de la ciudad con base en elementos socioeconómicos y tecnológicos que incidieron en la infraestructura vial y el aprovechamiento de los recursos naturales. La representación de la conformación de la ciudad y su área de influencia a través de un corema, presenta una visión simplificada de este proceso histórico.

En el *Capítulo 3* se presenta el análisis intraurbano que incluye los cambios espaciales en el proceso de metropolización: la expansión urbana que da lugar a la conurbación, la segregación como producto de la industrialización y tercerización de la economía, los cambios en la población económicamente activa, entre otros. El tratamiento y análisis de los elementos que pueden considerarse como expansores de la zona metropolitana, permiten evaluar las débiles tendencias de desconcentración de la población, la economía y la presión hacia el recurso hídrico.

Siguiendo las etapas históricas en la conformación de la ciudad y su área de influencia, en el *Capítulo 4* se realiza la interpretación de las modalidades de abastecimiento de agua y disposición de agua residual. Se identifican los procesos y efectos al agua subterránea como producto de la urbanización, que según su origen se dividen en los producidos por

disposición de agua residual, y aquellos relacionados con la extracción intensiva y construcción deficiente de pozos.

Las conclusiones permiten determinar los principales procesos locales y regionales que incidieron en la conformación de la ciudad y la periferia y en el abastecimiento de agua. El análisis temporal muestra la aceleración de los procesos en la últimas décadas y la acumulación de efectos que se desplazan progresivamente hacia la periferia. Las tendencias de desconcentración son débiles y los problemas de abastecimiento se agudizan, esto debido a la falta de políticas urbanas y a la deficiente gestión del agua que refuerzan la concentración y el desequilibrio regional.

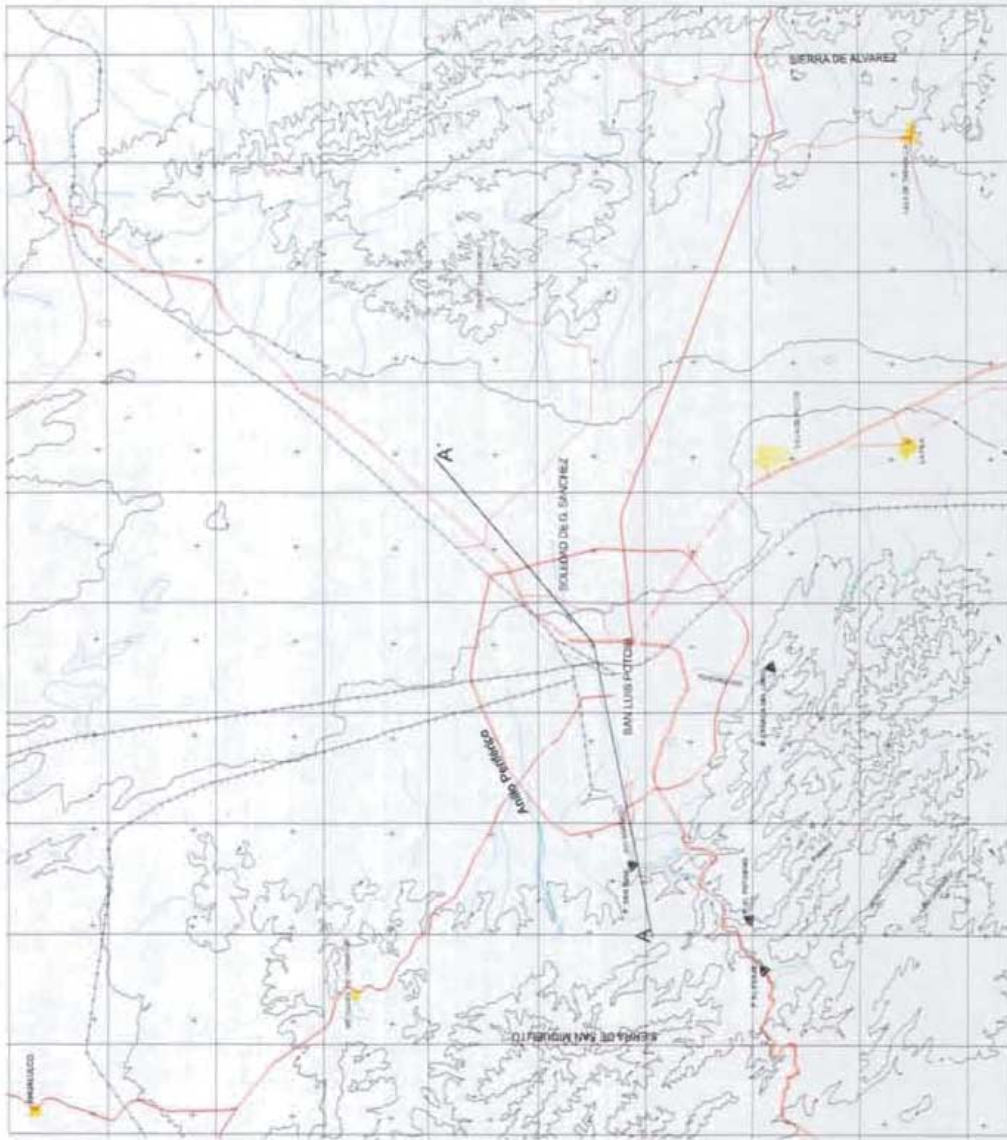
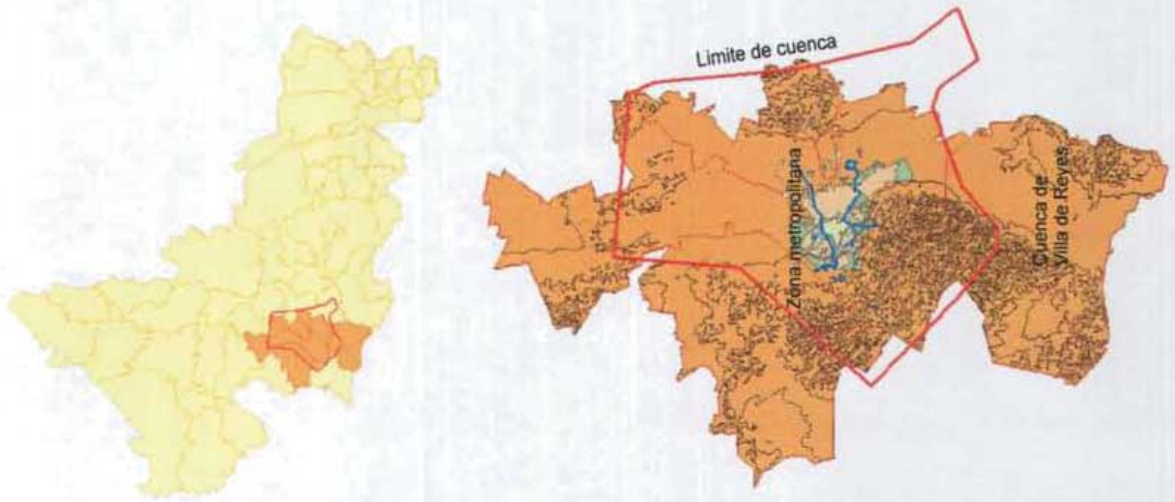
1. El agua en la cuenca de San Luis Potosí

1.1. Características generales

La cuenca superficial endorreica de San Luis Potosí, de acuerdo con la división del territorio de la República Mexicana en regiones hidrológicas de la anterior Secretaría de Recursos Hidráulicos ahora Comisión Nacional del Agua, forma parte de la Región Hidrológica N° 37 denominada El Salado. Se localiza en la parte suroeste del estado, entre las latitudes 22° N y 22°30' N y las longitudes 100°58' W y 101°13' W, extendiéndose en un área de 1 920 km² con una altitud entre 1 850 y 1 900 msnm en la parte plana. El límite este se ubica sobre la Sierra de San Pedro y Álvarez, al oeste sobre la Sierra de San Miguelito, al norte se localiza en la Sierra de La Melada y al sur sobre la Sierra de San Miguelito y parte de la planicie. Comprende casi la totalidad de los municipios de San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez y una pequeña fracción de Mexquitic de Carmona, Cerro San Pedro y Villa de Zaragoza; esto le da la característica de cuenca urbana debido a que la extracción se destina mayormente a la zona metropolitana conformada por las ciudades de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez (Figura 1.1). Al sur, la cuenca de Jaral de Berrios-Villa de Reyes perteneciente a la Región Hidrológica N° 26 Pánuco, ha cobrado recientemente una importancia estratégica para el abastecimiento futuro de la Zona Metropolitana.

La zona de estudio queda comprendida en el altiplano mexicano, con clima árido, predominando el seco templado con verano cálido, BS₀kw^w(e) en la mayor parte del área y semiseco templado con verano cálido, BS₁kw^w(e) al pie de la sierra de San Miguelito y la zona de las presas El Peaje y San José. La precipitación media anual es de 406 mm con valor anual máximo y mínimo de 631 mm y 259 mm, respectivamente. La época normal de lluvias comprende los meses de junio a septiembre, período en el que se presenta el 65% de la precipitación anual. El mes de máxima lluvia es julio con valor promedio de 72.6 mm, en tanto que el mes de menor pluviosidad es febrero en el cual ocurre un promedio de 7.5 mm. En términos anuales, los períodos secos entendidos como aquellos cuyo valor es menor que la media anual, pueden prolongarse hasta 7 años, en tanto mensualmente la sequía alcanza períodos de hasta 7 meses.

Figura 1.1. Localización de la zona de estudio



La temperatura media anual reportada para la cuencas es de 17.6 °C; los valores máximos son durante los meses de mayo y junio (20.2 °C media mensual) y los valores mínimos en el mes de enero con una media de 12.5 °C.

La cuenca queda comprendida entre las provincias fisiográficas de Sierra Madre Oriental al este y la Mesa Central al oeste. La Sierra Madre Oriental esta conformada por rocas sedimentarias marinas calcáreas y clásticas plegadas en el Mesozoico, con altitudes que varían entre 2 000 y 3 000 msnm; está representada en el área por la Sierra de Álvarez que forma parte de un conjunto de elevaciones de hasta 2 300 msnm, muy plegadas y con una topografía de contornos suaves. La Provincia de la Mesa Central, en su mayor parte consiste en un territorio semiárido con llanuras entre sierras constituidas por rocas volcánicas, en ocasiones asociadas con mesetas volcánicas con alturas superiores a los 2 000 msnm. En el área el elemento representativo lo constituye la Sierra de San Miguelito formada por rocas ígneas extrusivas del Terciario, caracterizada en su parte central por una topografía muy abrupta e irregular, con pendientes que llegan a 45° y con diferencias de altura sobre el nivel de la planicie de hasta 950 m (2 780 m), hacia el exterior en el límite con la planicie presenta lomeríos redondeados de pendientes suaves. Hacia el oeste, en un limite transicional con la Provincia de la Mesa Central se desarrolla la provincia fisiográfica de Sierra Madre Occidental que consiste de un campo volcánico compuesto en su mayoría por rocas félsicas, calcialcalinas formadas durante el Terciario Medio. Al sur se ubica la cadena de la Faja Volcánica Transmexicana.

1.2. Marco litológico estructural

La zona de estudio se encuentra en una cuenca donde el basamento de edad Mesozoica está conformado por dos ambientes paleogeográficos de extensión regional. La Cuenca Mesozoica del centro de México ubicada al oeste, con afloramientos fuera de los límites de la cuenca. Su base inicia con esquistos y filitas del Carbónico Inferior seguida de una secuencia de rocas carbonatadas, por último, calizas y areniscas del Cretácico Superior. La Plataforma Valles-San Luis Potosí al este, aflora en la Sierra de San Pedro y fuera de los límites de la cuenca; inicia con una secuencia de yeso y anhidrita del Cretácico Inferior con espesor de 3 000 m, teniendo por encima 1 800 m de calizas de plataforma, seguida

de 400 m de una alternancia de calizas y lutitas que cambian a calizas de ambiente profundo y plataforma. La secuencia culmina con areniscas y lutitas del Cretácico Superior. Un intenso plegamiento producto de la Orogenia Larámide afectó los sedimentos de la Plataforma dando lugar a estructuras compresivas características de la Provincia Fisiográfica de Sierra Madre Oriental.

En el Terciario, el basamento conformado por los dos ambientes descritos es cubierto por 130 m de conglomerados que afloran parcialmente sobre las rocas sedimentarias carbonatadas. Intrusivos graníticos de principios del Terciario (Eoceno y principios del Oligoceno) afectaron las unidades de las columnas descritas y se supone que a profundidad constituyen parte del basamento regional.

Sobreyaciendo a los conglomerados se depositaron derrames de composición andesítica del Eoceno que formaron estructuras poco importantes en el área. Posteriormente, una fase distensiva ocasionó fallas y fosas tectónicas de orientación NW-SE y dio inicio al vulcanismo del Oligoceno. Este vulcanismo Terciario es el aspecto geológico más conspicuo de la extensa región de México denominada Provincia Fisiográfica de la Sierra Madre Occidental. Estructura regional que se extiende con dirección NNW por aproximadamente 1 400 km desde la Faja Volcánica Transmexicana al sur, hasta los Estados Unidos de América al norte y con ancho promedio de 150-200 km. Litológicamente corresponde a derrames lávicos, ignimbritas y tobas de composición félsica que descansan sobre el basamento Mesozoico.

La Fosa Tectónica de San Luis Potosí, forma parte de esta etapa distensiva y constituye parte de una estructura regional denominada por Tristán (1986) "Graben de Villa de Reyes" que inicia su formación en el Oligoceno Temprano. A los fines de este trabajo se usará el término Fosa Tectónica de Villa de Reyes. A lo largo de fallas normales de alto ángulo, los bloques interiores descendieron gradualmente hacia la parte central, en tanto los bloques exteriores se levantaron. Los desplazamientos en estas estructuras ocurren regularmente a lo largo de una compleja serie de fragmentos de falla interconectados, donde los bloques que experimentaron el mayor descenso sólo ocupan una pequeña parte de la planicie actual. La parte hundida de la Fosa Tectónica de Villa de Reyes se extiende

por 200 km de norte a sur, con un ancho promedio de 15 km. En la planicie de San Luis Potosí el bloque más hundido se ubica de manera asimétrica en el norte y sur hacia la margen oeste, y en la parte central (ciudad de San Luis Potosí) se dispone hacia el este. El vulcanismo Terciario que ascendió por las fallas marginales fue contemporáneo con la formación de la fosa tectónica; esta representado por lavas viscosas (Latita Portezuelo y Riolita San Miguelito) y piroclastos (Ignimbrita Cantera) que afloran ampliamente en la Sierra de San Miguelito y la Latita Portezuelo en la Sierra de San Pedro.

Simultáneo a la formación de la fosa tectónica inicia, probablemente en ambiente fluviolacustre, un proceso de sedimentación clástica continental o relleno de fosa que continúa hasta nuestros días. La inestabilidad de las paredes de la depresión provocó deslizamientos de masa y el depósito, durante el Neógeno, de arenisca, limo y un conglomerado polimíctico formado por arenisca y roca volcánica de composición riolítica (Riolitas Panalillo); el conjunto de estos materiales se denomina Terciario Granular Indiferenciado (Carrillo-Rivera *et al*, 2002). El Cuaternario representado por basalto, toba basáltica, conglomerado, material aluvial y material de relleno de granulometría variada, aflora preferentemente en la planicie y pie de monte de las sierras. Los abanicos aluviales formados principalmente por conglomerado y brecha, se interdigitan con material fino del centro de la cuenca.

Pool (1986) encontró que la distribución regional horizontal del relleno de fosa se caracteriza por la disposición de sedimento de grano grueso hacia las partes altas que pasan gradualmente a facies de sedimento de grano fino en la parte más hundida. El relleno lo divide verticalmente con base en características estructurales y estratigráficas en inferior y superior, separados por una superficie de erosión. El relleno inferior se depositó durante la subsidencia activa. Posterior a la subsidencia, tuvo lugar el relleno superior consta de depósitos de ambiente fluviolacustre y lacustre, que en el caso de la zona de estudio pudo corresponder con condiciones de cuenca endorreica. Los datos existentes no permiten diferenciar estas unidades, sólo se puede concluir que el material granular que aflora en la planicie forma parte del relleno superior (Cardona, 1990).

Existen dos rasgos geológicos a destacar y cuya importancia en la hidrogeología de la zona de estudio será tratada oportunamente. El primero corresponde a la presencia de sedimentos de grano fino (principalmente arenisca) en la zona más hundida de la planicie que coincide con el área urbana e industrial de San Luis Potosí y con espesores entre 70 m y 170 m; el segundo se refiere a la composición de buena parte de las rocas volcánicas del área que proceden de la fusión de la corteza con cantidades mínimas de magma derivado del manto, esto y el rápido enfriamiento posterior a la extrusión dan como resultado una composición de 80% de matriz vítrea (Cardona, 1990).

1.3. Fuentes de agua superficial

Los escurrimientos superficiales de la zona se originan en la Sierra de San Miguelito y son captados por medio de cuatro presas: San José, El Peaje, El Potosino y Cañada de Lobos (**Figura 1.1**); las dos primeras contribuyen al abastecimiento de agua a la ciudad. La cuenca hidrográfica de la Presa San José integra un área avenida de 264.6 km² que comprende las cuencas de las presas El Peaje y El Potosino, ubicadas aguas arriba. Los escurrimientos de las pequeñas sierras situadas al oeste de la ciudad dan origen al Arroyo Grande o Azul y al Arroyo Las Cabras que aguas abajo se integran en el Río de Santiago captado por la Presa San José, construida con capacidad de 7.3 Mm³ y en 1998 reducida por azolve a 5.1 Mm³. La Presa El Peaje cuya capacidad actual es de 6.8 Mm³, capta el Arroyo Grande o Azul con orígenes en el Cerro El Hormiguero al sur-suroeste de la ciudad y a una elevación de 2 600 msnm. La Presa El Potosino fue construida en la década de 1980 sobre el arroyo del mismo nombre para controlar las avenidas que se integran al cauce del Río Santiago, de tal manera que el caudal de descarga de la Presa San José, ubicada aguas abajo, no superara la capacidad de conducción del Río Santiago a su paso por la ciudad. La Presa Cañada de Lobos fue diseñada y construida con fines de control de avenidas; se localiza al sur de la ciudad y capta una pequeña cuenca endorreica de 13.5 km² que se origina en la Sierra San Miguelito y cuyos principales escurrimientos son Maguey Blanco y Cañada de Lobo, mismos que aguas abajo dan lugar al Río Española. La capacidad total de la presa es de 1.0 Mm³, sirviendo de control de inundaciones a la porción sureste de la ciudad, en el área habitacional y zona industrial. El cauce del Río

Españita fue rectificado y canalizado, desde la confluencia del canal de defensa con este río hasta el segundo cruce con el Boulevard Salvador Nava.

1.4. Cuenca superficial y cuenca subterránea

1.4.1. Consideraciones generales

La Ley de Aguas Nacionales define la cuenca hidrológica como "el territorio donde las aguas fluyen al mar a través de una red de cauces que convergen en un principal o bien el territorio donde las aguas forman una unidad autónoma o diferenciadas de otras aún sin que desemboquen en el mar. La cuenca, conjuntamente con los acuíferos, constituye la unidad de gestión del recurso hidráulico". En el espacio definido por la cuenca, el agua superficial y subterránea, las zonas de recarga y descarga, los lugares de extracción, las obras hidráulicas, los puntos de evacuación de agua residual, forman un sistema integrado e interconectado de características complejas (Dourojeanni y Jouravlev, 1999). En ella tiene lugar procesos permanentes y dinámicos que se originan entre el agua, las características físicas y los sistemas bióticos, y entre éstos y el sistema socioeconómico formado por los usuarios de la cuenca. Normalmente se entiende como usuarios a la población y sus actividades, sin embargo es necesario incorporar la vegetación en particular o los ecosistemas en general, que existen dentro de la cuenca y fuera de ella, lo cual aún no ha sido incorporado satisfactoriamente en la legislación. Las interrelaciones e interdependencias que se dan entre los distintos usuarios, tanto en el caso de usos consuntivos como los no consuntivos, se internalizan dentro de la cuenca o grupos de cuencas interconectadas (Dourojeanni *et al.*; 2002).

Si bien se reconoce a la cuenca superficial como el espacio óptimo para el estudio y gestión de los recursos, la validez de esta unidad territorial dependerá de las características físicas del espacio estudiado y de los objetivos a alcanzar. La visión de cuenca, tal como se la aborda en las diferentes definiciones, establece un territorio donde el agua fluye por cauces de diferente jerarquía, a través de los cuales se establece una interacción física, social y económica entre los usuarios aguas arriba y aguas abajo. De esta manera, el uso de la cuenca como unidad de estudio y gestión cabría más adecuadamente para zonas templadas o húmedas, con un relieve que permita definir sus

límites o parte-aguas, y no es tan relevante para zonas relativamente planas o áridas. Por ello a pesar de lo que se sostiene y recomienda, es necesario dejar en claro que la cuenca como unidad territorial no es el único espacio óptimo para estudio o gestión de recursos.

En zonas áridas el abastecimiento de agua proviene en gran parte del agua subterránea, que en ocasiones no se genera dentro de los límites de la cuenca superficial ya que existe comunicación hidráulica subterránea entre cuencas superficialmente separadas. En estos casos, el estudio y gestión del recurso debe considerar las características y funcionamiento del agua subterránea, y tener en cuenta que los límites de la cuenca superficial en muchas ocasiones no coinciden con los límites del agua subterránea (Tóth, 1995); tal es el caso de zonas áridas con rocas fracturadas como la zona de estudio. Existen evidencias de esto en las cuencas volcánicas Terciarias, en las cercanías de Sierra Madre Occidental, expuestas por Carrillo-Rivera (2000).

1.4.2. Teoría de los sistemas de flujo y relación hídrica entre cuencas superficial y subterránea

La necesidad de estudios de carácter general para comprender los procesos y manifestaciones a diferentes escalas espacial y temporal, junto a lo complejo de los problemas hídricos actuales, hicieron necesario un cambio en la perspectiva de análisis y de entendimiento del agua subterránea (Engelen y Jones, 1986; Tóth, 2000). En los años 60-70 se comenzó a investigar y esclarecer la hidrogeología a escala de cuenca lo que permitió ir estableciendo conexiones entre los fenómenos y su causa, el flujo subterráneo (Tóth, 2000). De este modo, se establece al sistema de flujo subterráneo como la unidad básica apropiada para el estudio, y no el acuífero en forma aislada que puede estar ocupado por diversos sistemas de flujo.

Un aspecto relevante es la existencia de continuidad hidráulica en los cuerpos rocosos que establecen como consecuencia, sistemas de flujo de agua subterránea extensos y de diferente jerarquía, propagación de materia y calor, e interdependencia hidráulica entre las distintas áreas de una cuenca o entre cuencas próximas (Tóth, 1995). La interdependencia hidráulica subterránea entre cuencas superficialmente separadas es un hecho relativamente común, sin embargo, en la mayor parte de los casos está enmascarada por

grandes distancias y períodos de observación relativamente cortos que no permite ser detectada fácilmente (Tóth, 1995). Por ello la mayor parte de los estudios de agua subterránea continúan argumentando la presencia de unidades geológicas denominadas impermeables que se supone limitan lateralmente el flujo subterráneo entre cuencas superficiales. Con este enfoque, las sierras principales que limitan las planicies (área en donde tiene lugar la mayor parte de la extracción de agua subterránea) se visualizan como barreras impermeables al flujo subterráneo, tal es el caso de la cuenca de San Luis Potosí la cual superficialmente es una cuenca cerrada, concepto que se ha extendido inadecuadamente a la cuenca subterránea.

La forma básica de los sistemas de flujo, resultado del concepto de continuidad hidráulica se denomina cuenca unitaria (Tóth, 1995) y está caracterizada por regímenes de flujo específicos denominados: zona de recarga donde el flujo natural del agua subterránea es vertical descendente, zona de tránsito donde el flujo es lateral y horizontal, y zona de descarga que se distingue por tener flujo vertical ascendente. En la zona de recarga el nivel de agua observado es profundo y se hace más profundo a medida que una perforación avanza, mientras que en la zona de descarga está cerca de la superficie y a medida que una perforación avanza el nivel se vuelve más somero.

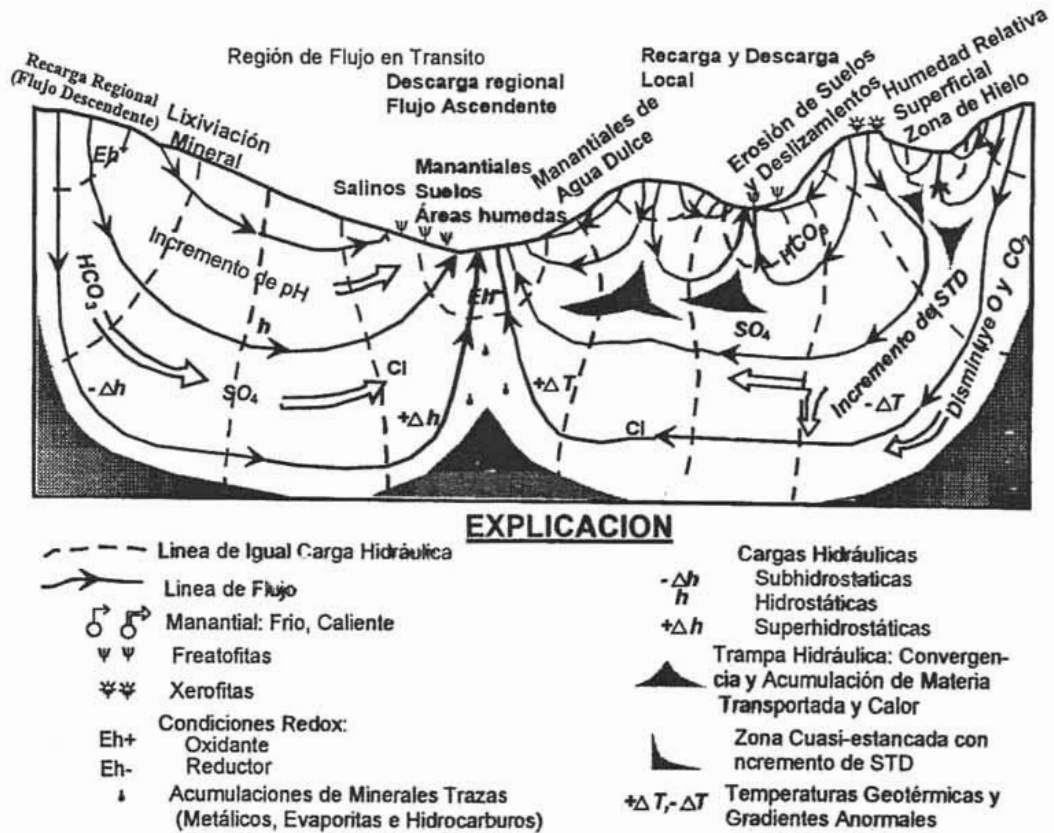
En cada uno de los tres regímenes la distribución de flujo subterráneo condiciona un arreglo específico y definido de presión de poro, carga hidráulica, gradiente hidráulico (horizontal y vertical), y de temperatura, salinidad, y composición química del agua subterránea. Las características topográficas y los efectos biológicos y edafológicos en la superficie del terreno ayudan a la identificación de estos regímenes a partir de la información básica recopilada en campo.

En el terreno, la topografía y la presencia de diferentes materiales geológicos en subsuelo condicionan la distribución espacial de las zonas de recarga, tránsito y descarga, y generalmente establece la presencia de patrones de flujo compuestos. Éstos son de tres tipos: sistemas de flujo local, intermedio y regional (Tóth, 1963). Adicionalmente, los patrones de flujo presentan varios rasgos distintivos: *i*) alternancia de regiones de recarga-descarga, *ii*) superposición vertical de diferentes tipos de régimen de flujo, *iii*) presencia de

puntos de estancamiento y iv) sistemas de flujo de diferente jerarquía que comienzan en una misma región.

Si se detiene el flujo de agua subterránea un instante y se visualiza su movimiento en el plano horizontal y vertical (**Figura 1.2**), se observarán áreas de recarga y descarga y tres sistemas principales de flujo de agua subterránea: local, intermedio y regional, en aquellos lugares donde el marco topográfico y geológico así lo definan. Una topografía abrupta producirá varios sistemas locales, en cada alto topográfico el agua entra y sale en el mismo valle. Estos sistemas locales se caracterizarán por una profundidad de recorrido somera, baja temperatura, alto contenido de oxígeno disuelto, valor alto de Eh, bajo pH y baja concentración de sales disueltas (CE). En algunos casos parte del agua de recarga podrá descargar en otro valle localizado a un nivel topográfico menor incluyendo dentro de su extensión la presencia de varios flujos locales, esto definirá un sistema intermedio. Su profundidad de recorrido será mayor que la de sistemas locales lo que le confiere una mayor temperatura, menor contenido de oxígeno disuelto, menor Eh, así como un pH más alcalino y mayor concentración de sales disueltas (CE). Comparativamente el agua de un sistema regional circula a mayor profundidad y recorre desde la parte más alta a la parte más baja de la cuenca donde descarga. Por su profundidad de circulación, el agua adquiere mayor temperatura que los sistemas locales e intermedios, tendrá menor contenido de oxígeno disuelto y Eh (incluso negativo), su pH tenderá a ser más alcalino y la concentración de sales disueltas (CE) será mayor. Desde el punto de vista de cantidad contiene más volumen que el agua de flujos intermedios, y estos a su vez mayor cantidad que los flujos locales. Todos estos flujos en un ambiente natural mantienen un recorrido separado.

Figura 1.2. Distribución del flujo subterráneo. Efectos y manifestaciones de flujos de gravedad en una región hidrológica



Tomado de Tóth (2000)

La definición de los sistemas de flujo puede llevarse a cabo con base en métodos de campo y gabinete. Los métodos de campo incluyen la cartografía de indicadores superficiales de agua subterránea conjuntados con el análisis de la topografía, clima y geología del subsuelo. Los indicadores superficiales se relacionan con la presencia de agua subterránea, entre los que se incluyen: i) determinación de flujo base en ríos y humedad en el suelo, ii) presencia de afloramientos de agua subterránea, iii) análisis de vegetación, iv) distribución de características físicas y químicas del agua subterránea, v) topografía, vi) presencia de suelos salinos, vii) pruebas hidráulicas en perforaciones, entre otros.

Las determinaciones de campo ayudan a definir y delimitar las zonas de recarga, tránsito y descarga. Las zonas de descarga se relacionan con la presencia de flujo base en ríos, presencia de manantiales, existencia de vegetación freatófita de galería (plantas que toman agua directamente del nivel freático), presencia de vegetación capaz de soportar cierta salinidad (plantas halófilas), nivel freático a poca profundidad, mayor salinidad en el agua comparada con otras regiones, presencia de suelo alcalino o salino, y generalmente coinciden con las zonas de menor elevación de las cuencas. En contraste, en las zonas de recarga las corrientes superficiales únicamente presentan agua inmediatamente después de la lluvia, no existen manantiales, la vegetación generalmente consiste de especies xerófitas o aquellas que son capaces de subsistir largos períodos de estiaje, generalmente existe déficit de humedad en el suelo, el nivel freático se encuentra a gran profundidad, la salinidad del agua subterránea es menor que en otras regiones, y coincide con las zonas topográficamente elevadas.

La geología del subsuelo, en especial el contraste de las propiedades hidráulicas (conductividad hidráulica, porosidad) que definen la rapidez con que el agua puede circular o cuanta agua puede almacenar, tienen una influencia directa en la definición del tipo de sistema de flujo que se desarrollan en una región determinada. Otro aspecto fundamental de la geología es la definición de la posición de la roca basamento, la cual marca conceptualmente el volumen de agua subterránea presente, su desplazamiento horizontal y vertical, así como la naturaleza del tipo de flujo que se desarrolla.

1.5. Marco hidrogeológico de referencia

1.5.1. Definición de unidad hidrogeológica y basamento

La cuenca de San Luis Potosí se asemeja a otras cuencas de las sierra transversales de la altiplanicie mexicana, Cuencas Aluviales Centrales (Back *et al.* 1988) y otras regiones hidrogeológicas del noreste de México y sureste de Estados Unidos, con una fosa tectónica rodeada de rocas volcánicas y calcáreas. Las rocas volcánicas terciarias y el material de relleno de fosa constituyen en la zona una unidad hidrogeológica continua, anisótropa y heterogénea de extensión regional. Las características hidráulicas de las unidades sedimentarias del Cretácico y los intrusivos graníticos de principios del Terciario,

constituyen en profundidad el basamento regional con una conductividad hidráulica baja, en relación con los materiales suprayacentes.

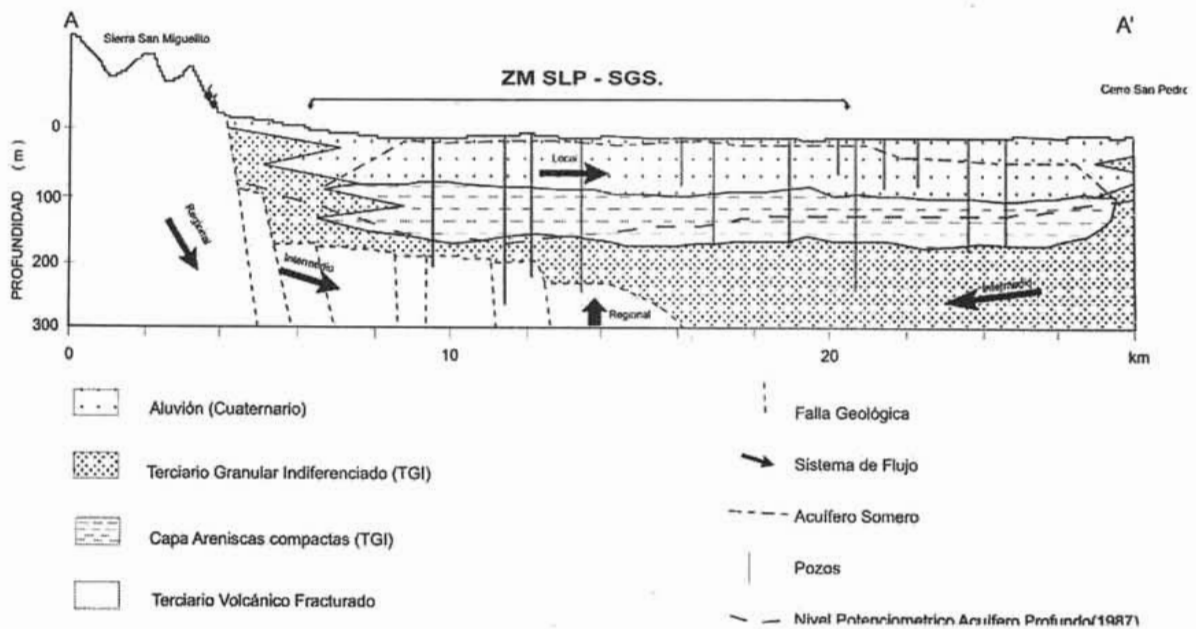
La unidad hidrogeológica definida permite diferenciar el material granular del relleno de fosa, constituido por tobas y sedimentos continentales con espesor máximo de entre 450 a 550 m, definido por Carrillo-Rivera *et al* (2002) como Terciario Granular Indiferenciado (TGI); depositado sobre los escalones del material fracturado formado por rocas volcánicas terciarias con espesor promedio de 1 700 m (Cardona, 1990; Molina-Maldonado, 1996). Los contrastes en los valores de resistividad eléctrica evidencian la presencia del fracturamiento en las rocas volcánicas y condiciona la comunicación subterránea de la cuenca superficial de San Luis Potosí con cuencas próximas (Carrillo-Rivera, 1992). Los valores de resistividad del orden de 25–100 Ω -m de las rocas volcánicas fracturadas, crecen a 100 Ω -m en las zonas alejadas a los sistemas de fracturas. Desde el punto de vista del desplazamiento del agua a profundidad, los valores de conductividad hidráulica más elevados están relacionados con las zonas de fallamiento normal que dieron origen a la fosa y especialmente con las zonas de cruce de sistemas de fracturamiento principal (intersección de los sistemas NE-SW y NW-SE) donde se tienen valores de K de hasta $\approx 3.4 \times 10^{-4}$ m/s; fuera de estas zonas los valores se reducen hasta 2.0×10^{-6} m/s. Estos sistemas de fracturas contribuyen con un 70% del agua producida por los pozos.

El material del relleno de fosa (TGI) incluye una lente de material fino (arenisca) y compacto que se extiende por 300 km², desde el centro de la fosa hacia el pie de monte, sin llegar a ocupar este último (**Figura 1.3**). Fue detectada por medio de perfiles litológicos y registros eléctricos verticales a 80 m de profundidad y con un espesor que varía de 50 a 150 m. La resistividad eléctrica de la lente del orden de 6-15 Ω -m contrasta con los 15-50 Ω -m correspondiente a las partículas de grava y arenas (Carrillo-Rivera, 1992).

Desde el punto de vista de definición de acuífero, la presencia de este estrato de material fino de baja conductividad hidráulica permite separar un acuífero somero y un acuífero profundo. El acuífero somero compuesto de material clástico está colgado sobre el estrato de material fino, e hidráulicamente se comporta como acuífero granular de tipo libre

(Figura 1.3). La profundidad al nivel del agua se encuentra entre los 5 y 30 m y su carga potenciométrica entre 1 815 y 1 880 msnm. El acuífero profundo se compone del material de relleno de fosa (TGI) y de rocas volcánicas fracturadas (Figura 1.3). La respuesta hidráulica del medio geológico presente permite diferenciar un acuífero granular, un acuífero fracturado (rocas volcánicas) y otro de doble porosidad (tobas), de tipo libre preferentemente (Carrillo-Rivera, 1992). Localmente, el estrato de material fino confiere condiciones hidráulicas de confinamiento al acuífero profundo que se refleja en la carga potenciométrica de 1 715 y 1 760 msnm. Fuera de los límites de este estrato, el acuífero profundo se comporta como libre. Las perforaciones que atraviesan este acuífero terminan a una profundidad de 350-450 en rocas volcánicas, tobas y/o TGI.

Figura 1.3. Marco Hidrogeológico de la Cuenca de San Luis Potosí



Adaptado de Carrillo-Rivera *et al.* (2002)

1.5.2. Funcionamiento del agua subterránea en la cuenca, zonas de recarga y descarga

La integración de la información topográfica, geológica, hidrogeoquímica y de manifestaciones de agua superficial han permitido definir el esquema de funcionamiento del agua subterránea en la cuenca. Este esquema fue definido por Cardona, (1990);

Carrillo-Rivera, (1992); Carrillo-Rivera *et al.*, (1996); Carrillo-Rivera *et al.*, (2002) con base en la respuesta hidráulica y la calidad físico química del agua. Las condiciones geológicas presentes en la cuenca definen dos acuíferos separados por un estrato de material fino. En el acuífero somero se detectó agua con temperatura a la descarga de 21 ± 1 °C, con contenido de 87.1mg/l de Ca, 0.4mg/l de F, 50mg/l de Na, 84.8mg/l de SO₄; los altos contenidos de Cl (media de 85.4mg/l y rangos entre 12.0 a 225.0mg/l), de NO₃ (media de 29.2mg/l y rangos entre 2.3 a 79.9mg/l) y HCO₃ (media de 212mg/l y rangos entre 94.4 y 411.8mg/l) evidencian la contaminación por agua residual. Otro elemento que ayuda en la definición del funcionamiento del agua subterránea es el Li. Este elemento que tiende a ser liberado por las rocas volcánicas desde el inicio del ciclo hidrológico, debido a su alta movilidad no precipita como mineral secundario; de esta manera su concentración indica litologías por las que atraviesa el agua y tiempo relativo de residencia (Edmunds *et al.*, 1986). Cardona (1990) determina la presencia de bajo contenido de Li (0.01mg/l) presentes en el agua fría de la cuenca, que indica tiempo de residencia relativamente corto y circulación preferentemente por material granular (no volcánicas). La caracterización del agua contenida en el acuífero somero permite asociarla con sistemas de flujo local (**Figura 1.3**), cuya zona de recarga se ubican en el pie de monte de las sierras que rodean la planicie. Otra componente de recarga al acuífero somero está dada por la infiltración de agua residual en la planicie, que contribuye con los altos niveles de NO₃⁻, HCO₃⁻, y Cl⁻ reportados (Carrillo-Rivera y Armienta, 1989). Sistemas de flujo locales de menor importancia están representados por manantiales de la Sierra de San Miguelito, aprovechados para abastecimiento de la ciudad de San Luis Potosí desde la época de la colonia.

El acuífero profundo está compuesto por un sistema de flujo intermedio que circula preferentemente por el material granular del TGI, y un flujo regional que se desplaza por las rocas volcánicas fracturadas que afloran en la Sierra de San Miguelito (**Figura 1.3**). El flujo intermedio presenta temperatura a la descarga entre 23.3 a 26.8 °C, con contenido de 21.1mg/l de Ca, 0.3mg/l de F, 14.6mg/l de Na, 4.7mg/l de SO₄, 10.5mg/l de Cl, 6.0mg/l de NO₃, 99mg/l de HCO₃ y 0.01mg/l de Li. Este flujo se recarga a partir del agua de precipitación que se infiltra en el material del TGI en la zona de pie de monte de la Sierra de San Miguelito.

El flujo regional definido de característica termal, presenta una temperatura media a la descarga de 36.3 °C, y contenido de 19.2mg/l de Ca, 3.1mg/l de F, 53.2mg/l de Na, 18.8mg/l de SO₄, 13.5mg/l de Cl, 4.6mg/l de NO₃, 155mg/l de HCO₃ y 0.19mg/l de Li; este último sugiere un mayor recorrido tanto vertical como horizontal y por lo tanto un mayor tiempo de residencia. Dataciones del agua termal con carbono-14 realizadas por Carrillo-Rivera *et al* (1992) en la zona vecina de Villa de Reyes, al sur de la cuenca de San Luis Potosí, arrojan tiempos de residencia mayores a 10 000 años. Se estima que este flujo se recarga en las rocas volcánicas fracturadas que afloran ampliamente al oeste, fuera de los límites de la cuenca. El uso de geotermómetros permitió definir una profundidad de circulación de aproximadamente 1.7 km.

Las zonas de descarga de los flujos intermedio y regional son definidas hacia el sur, fuera de los límites de la cuenca en las cercanías de la localidad de Santa María del Río y Villa de Reyes, lo que sugiere la conexión hídrica subterránea de la Cuenca de San Luis Potosí con cuencas vecinas. En IG (1999) se menciona la presencia hacia el año 1940 de un importante caudal base en el Río Santa María y de agua con temperatura entre 25 y 26 °C en su nacimiento, actualmente se encuentra seco en época de estiaje. Asimismo, se reportan manantiales termales (de 25.0 a 35.5°C), algunos de cuales han desaparecido; entre los de carácter perennes se mencionan, Ojo Caliente en Ojo Caliente y la Alameda, Hacienda La Labor en La Labor del Río, Santa María del Río en El Pueblito, en Villa de Reyes el manantial Ojo de Agua de Micaela y Las Rusias. Otros componentes de descarga lo conforman los pozos artesianos con agua termal y surgente con temperatura entre 37 y 41 °C y profundidades al nivel estático entre 0 y 5 m ubicados en la Hacienda Gogorrón y La Ventanilla, y en Jesús María con temperaturas de 31°C y profundidad al nivel estático de 8 m Hacia el norte de la ciudad de San Luis Potosí, en las cercanías de Ahualulco se reporta al menos un pozo surgente. Estas evidencias sugieren que la zona de descarga del flujo profundo captado en la cuenca de San Luis Potosí se localiza fuera de la cuenca, en la zona de Villa de Reyes, Santa María del Río y Ojo Caliente, indicando que la cuenca subterránea va más allá de los límites de la cuenca superficial (Carrillo-Rivera, 2000).

2. Urbanización en zonas áridas: Una visión de San Luis Potosí

2.1. Tendencias de asentamiento de la población: proceso de urbanización y fortalecimiento de ciudades medias

En las últimas décadas se han producido cambios importantes en los patrones de asentamiento de la población en el mundo. Si bien el hecho urbano tiene una larga historia, la humanidad habitó predominantemente, hasta mediados del siglo XVIII, en pequeños asentamientos cuya economía dependía directamente de las actividades primarias. A partir del inicio de la revolución industrial, la población crece considerablemente como producto de avances en la medicina y mejora en las condiciones de vida. Entre 1750 y 1950 la población se triplicó, pasando de 800 a 2 500 millones; veinticinco años después el crecimiento demográfico mundial fue de más de 1.500 millones de personas, haciendo un total de 4 000 millones (Bellet, 2000a). La barrera de los 5 000 millones se ha superado en 1990, y las estimaciones para el inicio del siglo era de 6 000 millones de habitantes.

El crecimiento de la población mundial fue acompañado por procesos migratorios hacia las regiones con lento crecimiento, que implicaron además el trasvase de población desde zonas rurales hacia zonas urbanas. A finales del siglo XVIII, sólo tres de cada diez personas vivían en ciudades, y menos del 1% de la población mundial lo hacía en ciudades de más de 100 000 habitantes (Bellet, 2000b). Los datos de Naciones Unidas reflejan que en 1950 el 29% de los habitantes del planeta vivían en ciudades, unos 750 millones de personas, en 1999 el porcentaje llegó a un 47% y afectaba a unos 2 850 millones de habitantes, y se prevé que para las primeras décadas del próximo siglo este porcentaje llegue a superar el 60%, con unos 5 000 millones. Este importante cambio en el patrón de asentamiento de la población se refleja en el aumento del número y tamaño de las ciudades, y representa el paso de una organización espacial basada en las necesidades de una sociedad predominantemente agraria y rural, a una organización más compleja.

En 1960 los países en desarrollo eran predominantemente rurales, una de cada cinco personas vivía en áreas urbanas, ya para el año 2000 se señala a América Latina como la

región más urbanizada del mundo en desarrollo (Valladares y Coelho, 2000). Estos autores agrupan a Argentina, Uruguay, Chile, Venezuela, Brasil, México y Perú entre los países con un grado de urbanización de más del 70%, a los cuatro países mencionados en primer término corresponden porcentajes superiores al 85%. Cabe mencionar que mientras que en Argentina, Uruguay y Chile la urbanización se inició en los años 20 y 30, en México, Venezuela, Perú y Brasil este proceso comenzó en los años 40. Un segundo grupo, con una población urbana que representa entre el 50 y el 70% del total, lo forman Colombia, Nicaragua, Ecuador, Panamá y Bolivia. Los países de América Central integran un grupo formado por sociedades predominantemente rurales.

La rápida incorporación al proceso de urbanización de los países de América Latina está relacionada con la emigración rural y el fuerte crecimiento demográfico, sin embargo, desde hace decenas de años la población urbana ha aumentado más rápidamente que la población total (Bellet, 2000a). En el periodo de 1965 a 1980, mientras el índice de crecimiento anual medio de la población urbana en todos los países de la región era superior al 3%, el de la población total sólo superaba el 2%. En los países desarrollados el hecho de que el proceso de industrialización haya sido una causa principal de la urbanización, permite observar una correlación entre crecimiento urbano y desarrollo económico; a diferencia, en los países en desarrollo las tasas de crecimiento urbano aumentan más rápidamente que las de desarrollo económico debido a una industria que crece a ritmos muy lentos, y al empleo o subempleo urbano de baja productividad (Valladares y Coelho, 2000). Los resultados más claros de esto es la creciente pobreza y la aparición de extensas zonas populares marginales en las grandes metrópolis.

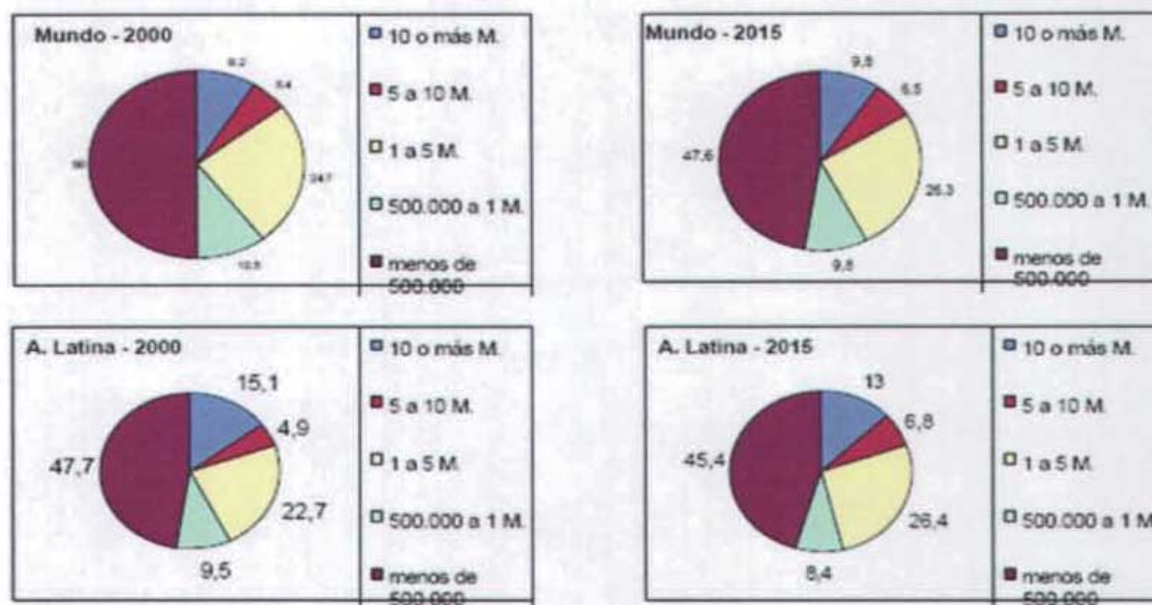
Otro rasgo de importancia en el proceso de urbanización reciente es el explosivo crecimiento demográfico experimentado por las grandes ciudades, especialmente en los países en desarrollo. En 1950 tan sólo 83 eran las ciudades con más de un millón de habitantes, la mayoría de ellas en países desarrollados. En 1960 el número era de 114, de las que 62 se localizaban en los países en desarrollo. Entre 1960 y 1980, las ciudades millonarias alcanzaron la cifra de 222, de las que 103 se ubicaban en estas regiones, y en 1995 eran 325, la mayoría en países en desarrollo y buena parte de ellas en la India y China.

Los datos de los últimos años muestran importantes cambios en los patrones de urbanización: a) los índices de crecimiento demográfico y urbano han disminuido considerablemente, b) las grandes metrópolis están creciendo menos rápidamente de lo que se esperaba, México es un ejemplo de inversión de la tendencia al crecimiento, y c) en la red urbana de los años 90 se observa ya una jerarquía relativamente equilibrada de las ciudades, creciendo en importancia las de tamaño medio (Bellet, 2000b). Las causas de la desaceleración del crecimiento de las grandes metrópolis las podemos encontrar en sus dinámicas y estructuras demográficas, y la aparición de los procesos de urbanización difusa que impulsan otros asentamientos de menor tamaño ligados al área de influencia de las grandes concentraciones urbanas.

Si bien gran parte de los estudios urbanos se centran en el fenómeno de las grandes metrópolis, es necesario considerar que éstas sólo concentran actualmente el 14.6% de la población urbana del mundo teniendo en cuenta las ciudades mayores a 5 millones de habitantes, y un 39.3% si se considera el rango superior al millón de habitantes (Bellet, 2000a). Más del 60% de la población urbana se aloja actualmente en ciudades de 1 millón o menos habitantes (**Figura 2.1**). Estas ciudades son las que en el último período han registrado los índices de crecimiento más importantes, crecimientos que en el tramo de 500 000 a 1 millón de habitantes han registrado en la última década incrementos superiores al 5% anual. Las nuevas pautas de la urbanización apuntan efectivamente hacia la importancia creciente de las ciudades de tamaño medio y pequeño, y las tendencias indican que estos centros continuarán albergando a la mayoría de la población urbana (Schteingart, 1995; Rodríguez *et al.*, 1995). En la **Figura 2.1**. se observa la distribución y las tendencias para el año 2015. Las grandes metrópolis de América Latina disminuirán su población de 15.1% a 13%, a la vez que crecen en importancia las ciudades con rangos entre 5 y 10 millones de habitantes con un incremento en la población de casi un 2%; el mayor crecimiento se da en las ciudades entre 1 y 5 millones con un incremento de alrededor del 4% para el período de 15 años; en tanto las ciudades menores a 1 millón continuarán concentrando la mayor parte de la población urbana, con una disminución muy reducida en su crecimiento. Estas tendencias se observan

igualmente a nivel mundial, con excepción de las ciudades de más de 10 millones cuya tendencia es de lento crecimiento.

Figura 2.1. Porcentaje de población urbana por tamaño del asentamiento



Fuente: World Urbanization Prospects: the 1999 Revision.

Las nuevas formas de distribución de la población pueden explicarse por las nuevas pautas de reorganización del espacio y de la economía que en parte cambia la magnitud y dinámica de la migración. El tradicional movimiento del campo a la ciudad de las décadas pasadas es hoy menos importante, y se fortalece la migración entre zonas urbanas y dentro de éstas (Schteingart, 1995). Ya desde finales de la década de los años 70 se produce un fenómeno caracterizado por la disminución de la población en los sistemas metropolitanos como consecuencia del deterioro físico y social de la ciudad central. Los flujos migratorios se desvían hacia las ciudades de tamaño medio que desempeñan el papel de centros regionales. Como consecuencia, surgen procesos asociados de tipo económico, social y urbano como la relocalización de la industria, el desarrollo de actividades terciarias, la diversificación de la economía regional y el empleo, las grandes infraestructuras, la urbanización de áreas agrícolas, entre otras; la magnitud de estos procesos depende de la dimensión regional que adquiere la ciudad (Delgado, 2003a). Aún así, la expansión urbana, la ocupación periurbana, a relocalización de actividades y

población desde el centro a la periferia, son constantes de la urbanización difusa (Delgado, 2003a y 2003b).

El proceso de urbanización a ritmos acelerados y altamente localizados genera graves problemas ambientales, económicos, culturales y sociales en las ciudades y economías que parten de condiciones muy precarias, e inhibe las posibilidades de equilibrio territorial. Incluso con ritmos inferiores, las ciudades continuarán creciendo más rápido que las viviendas, los servicios y la oferta de trabajo urbano (Aguilar *et al.*, 1996). La creciente presión del sistema socioeconómico sobre los recursos que le sirven de sostén crea conflictos ambientales y sanitarios significativos: exposición a condiciones de riesgo de la población, contaminación de fuentes de agua, problemas de abastecimiento y disposición de residuos domésticos e industriales, procesos de deforestación, urbanización en áreas de recarga de acuíferos y tierras agrícolas, entre otros. Si bien las mayores posibilidades tecnológicas permiten encontrar la forma de ampliar las posibilidades de algunos recursos, otros recursos existen en cantidades limitadas, y esto sin mencionar la cuestión de la posibilidad económica para acceder a la tecnología. Muchas comunidades rurales de América Latina viven en condiciones precarias, a veces porque las necesidades de las ciudades en cuanto a una mayor extracción de recursos y una eliminación creciente de desechos han tenido un efecto negativo directo o indirecto sobre estas poblaciones. Con frecuencia, el ritmo del crecimiento urbano ha superado las posibilidades gubernamentales y del sector privado para satisfacer las necesidades básicas, por lo que la gestión de las ciudades seguirá planteando un gran reto en una situación de recesión, escasez de recursos y pobreza creciente.

2.2. Crecimiento y distribución de la población urbana en las regiones áridas de México: evolución a una sociedad dependiente del agua subterránea

Si bien el proceso de urbanización de los últimos años en los países en desarrollo puede considerarse un fenómeno sin precedentes, su impacto es más notable en las zonas áridas debido a las limitaciones que impone el medio físico para el desarrollo de grandes centros urbanos. En parte la tecnología ha permitido crear condiciones más propicias para el establecimiento de la población y el desarrollo de sus actividades, aún así la presión de

la expansión urbana sobre los recursos naturales como el agua pone al descubierto la fragilidad del sistema natural de estas regiones a través de problemas de deforestación, erosión y abastecimiento de agua principalmente.

México presenta más del 52.8% de su superficie cubierta por zonas áridas; de un total de 1 958 201 km², aproximadamente 1 033 930 km² corresponden a esta condición (Gutiérrez y Valdéz, 1997). Estas zonas se caracterizan por la escasa precipitación (<300 a 500 mm/año), elevada evaporación potencial y temperaturas extremas, lo que limita la presencia de corrientes de agua superficial de carácter permanente, de tal manera que el agua subterránea se convierte en la principal o hasta única fuente de abastecimiento.

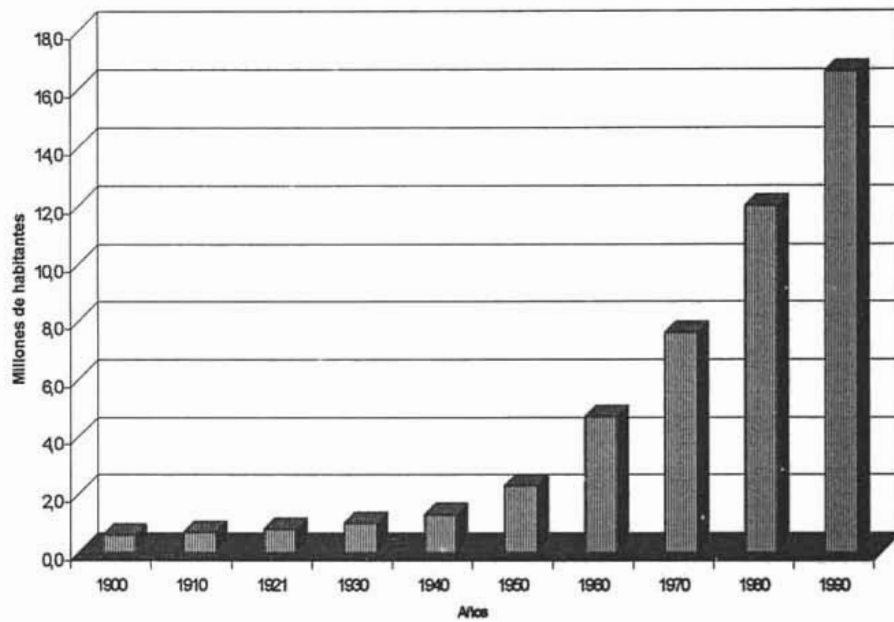
El proceso de urbanización en las zonas áridas de México comenzó a ser analizado desde 1975 por Gutiérrez y Valverde. En 1900 la población urbana de zonas áridas era de 596 420 habitantes distribuida en 18 ciudades pequeñas (de 10 000 a 50 000 habitantes) y 3 medianas (de 50 001 a 100 000 habitantes) donde se concentraban el 69% de esta población (Gutiérrez y Valdéz, 1997). En 1940 crece hasta 1.3 millones de habitantes distribuidos en 34 ciudades pequeñas y el resto en 6 ciudades medianas y una grande (más de 100 000 habitantes). Para ese año, el 53% de la población se concentraba en las ciudades pequeñas. A partir de la década de los 40 comienza un proceso acelerado de urbanización, y en 1990 la población urbana en las zonas áridas de México alcanza a más de 16.6 millones de habitantes, aproximadamente el 33% de la población urbana total del país (**Figura 2.2**). En esta última etapa el aumento del número de ciudades grandes y el crecimiento de su población es aún más notable que el proceso de urbanización (**Figura 2.3 y 2.4**). Para 1990 se contaban 107 ciudades pequeñas, 16 medianas y 29 grandes concentrándose en estas últimas el 79.4% de la población urbana (Gutiérrez y Valdéz, 1997). El aumento del número y tamaño de las ciudades de más de 100 000 habitantes, consideradas dentro del rango de ciudades medias, favorecido por una relocalización de actividades y población, pasó a ser un importante componente del sistema urbano nacional (Aguilar *et al.*, 1996).

A nivel nacional paradójicamente las actividades económicas y las mayores tasas de crecimiento se concentran en la región centro y norte del país, correspondiendo en gran

parte con las zonas áridas donde la precipitación es menor. En estas zonas el agua subterránea se ha convertido en un elemento indispensable para el suministro a los diferentes usuarios, donde constituye la fuente de abastecimiento más importante y a menudo única.

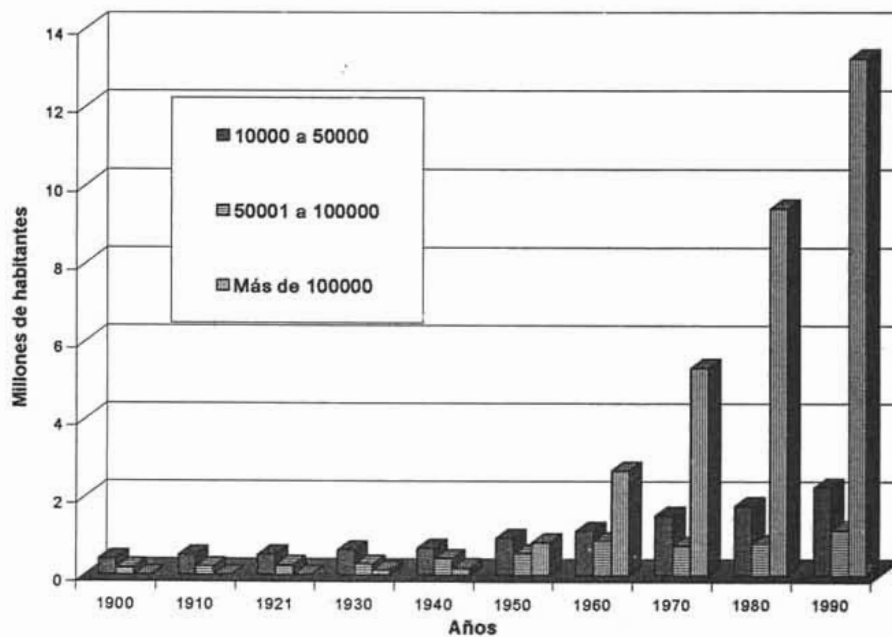
La presión que ejerce el sistema socioeconómico sobre este recurso lleva a situaciones de extracción intensiva en la mayor parte de los acuíferos de la región. Esto generalmente produce efectos negativos relacionados con el ambiente, los aspectos económicos y sociales (Llamas y Custodio, 2002). En cuanto a las afecciones al ambiente, la interferencia con manantiales ha ocasionado la desecación o reducción del caudal de un buen número de ellos, ejemplo de esto son las zonas de descarga de la cuenca de estudio mencionadas al final del capítulo I.; otro efecto se relaciona con la afección a los ecosistemas dependientes del agua subterránea y que pueden estar relacionados con el descenso de nivel freático que lleva a la desecación de humedales o disminución de la humedad del suelo. Los efectos de carácter económico generalmente se producen como consecuencia del descenso del nivel del agua que incrementa los costos de extracción debido a la profundización de los pozos, la necesidad de motores de mayor potencia, el consumo creciente de energía eléctrica, la disminución del caudal y rendimiento de los pozos. Un efecto que puede tener consecuencias económicas y sociales más importantes que el descenso de los niveles piezométricos se relaciona con el deterioro de la calidad del agua, ya sea por intrusión salina o inducción de agua por efectos del bombeo con elementos nocivos en concentraciones elevadas. No obstante, los factores que tienen que ver con el deterioro de la calidad del agua subterránea, en parte no están relacionados con la extracción intensiva, sino que se deben a las descargas en el subsuelo de efluentes urbanos e industriales sin tratamiento o a la aplicación de productos químicos para la agricultura. Otro efecto negativo de la extracción intensiva son los asentamientos diferenciales y agrietamiento del terreno que provocan importantes daños en la infraestructura urbana e industrial.

**Figura 2.2. Crecimiento de la población urbana en las zonas áridas de México
Período 1900-1990**



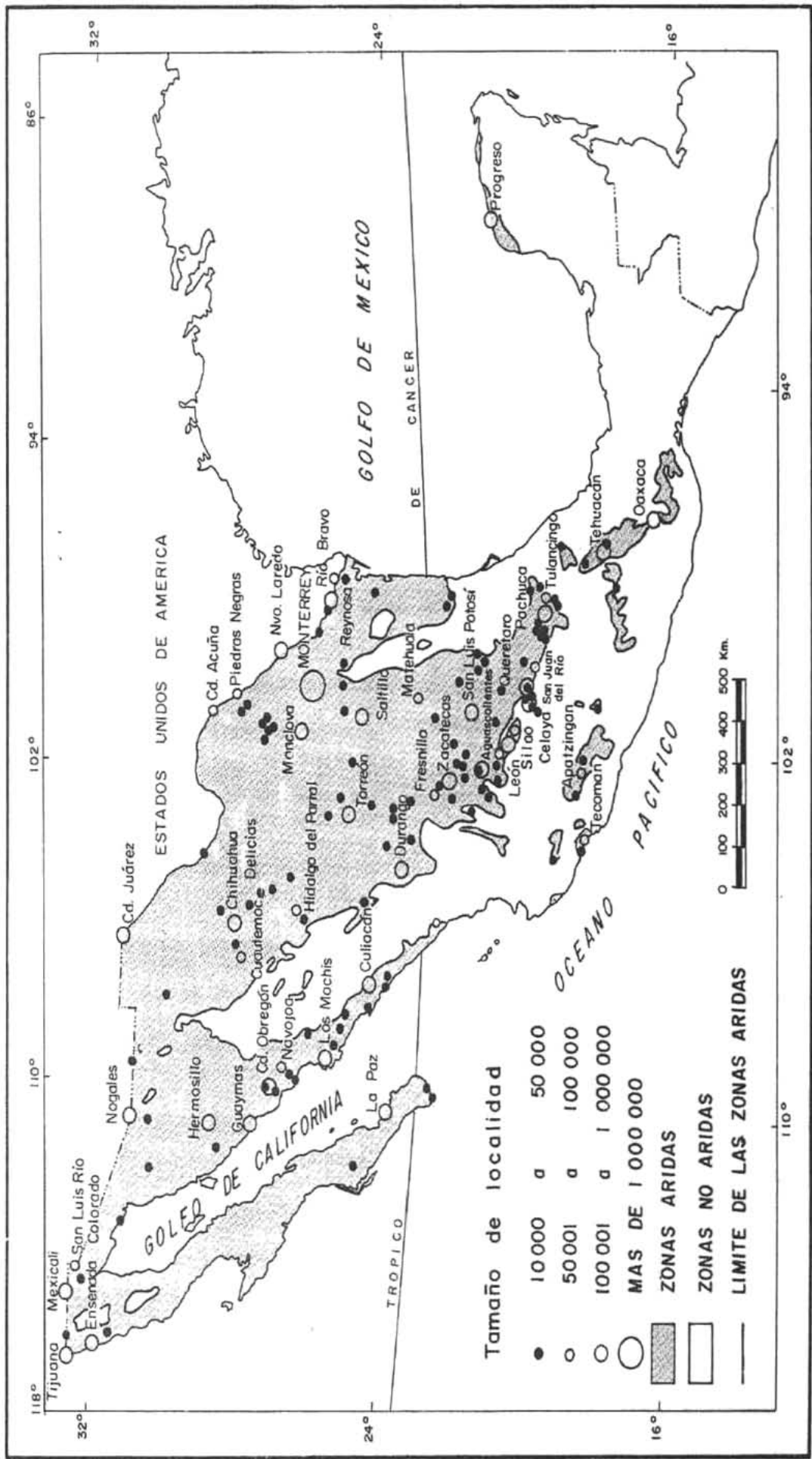
Fuente: Gutiérrez y Valdéz (1997)

Figura 2.3. Población urbana 1900-1990 por número y tamaño de localidades



Fuente: Gutiérrez y Valdéz (1997)

Figura 2.4. Distribución de población urbana en zonas áridas por número y tamaño de localidades 1990



El agua subterránea es la principal o la única fuente de agua para los diversos usos en un número cada vez mayor de regiones, especialmente en regiones áridas, por lo que la sostenibilidad tanto de los usos existentes y futuros, como de los ecosistemas asociados debe considerar las afecciones producidas. Es necesaria la correcta evaluación del recurso con sus beneficios y posibles impactos para planificar el desarrollo sostenible de las ciudades que dependen del uso intensivo de agua subterránea, ya que esto permite prever y cuantificar gran parte de las afecciones y en muchos casos pueden mitigarse con una adecuada planificación de las captaciones y de las extracciones (LLamas *et al* 2000).

2.3. Etapas y modalidades de la evolución urbana de la ciudad de San Luis Potosí

La ciudad de San Luis Potosí, evolucionó como todas las ciudades a partir de un asentamiento. Una revisión histórica permite conocer en forma general, los modelos territoriales por los que ha transitado la ciudad, hasta llegar a conformar un centro regional de importancia a nivel nacional. Teniendo en cuenta que las ciudades siguen una evolución funcional a lo largo de su crecimiento, se agruparon de manera general las características económicas, demográficas, de transporte y modalidades de abastecimiento de agua en tres etapas. Corresponden a cada una de ellas un modelo de desarrollo socioeconómico y tecnológico que definieron las características productivas y las relaciones urbana regionales más importantes.

2.3.1. Primera etapa: fines del siglo XVI a fines del siglo XIX. Del auge a la decadencia de la minería y el surgimiento de una economía rudimentaria diversificada

2.3.1.1 Visión geográfica, económica y demográfica

San Luis Potosí, territorio de tribus chichimecas, en las fronteras entre las culturas adelantadas del centro y las retrasadas de Aridoamérica fue la última de las grandes fundaciones en el siglo XVI, en el marco de la estrategia de colonización del territorio (Márquez, 1986). La nueva fuente de riqueza para la Corona española descubierta en las Minas de San Pedro atrajo una gran cantidad de pobladores. La falta de agua en el lugar dificultaba los asentamientos y el beneficio de los metales, favoreciendo en 1592 la

fundación de San Luis Minas del Potosí en el puesto de San Luis donde abundaba el agua (Monroy y Calvillo, 1997).

El descubrimiento de nuevas vetas en el Altiplano Potosino propició la creación de nuevos distritos mineros. La riqueza de la región era famosa a principios del siglo XVII. En San Luis y alrededores prosperaron una gran cantidad de carboneras y haciendas de beneficio donde se refinaba el metal. Se dotó al pueblo de Cajas Reales para el manejo de los metales aumentando su categoría como centro minero.

La relativa estabilidad de las actividades productivas desarrolladas en la región vinculadas a los recursos naturales asequibles, favoreció la consolidación de los asentamientos más numerosos convirtiéndolos en poblaciones en las que aparecía cada vez más el trazo y las necesidades de una ciudad. Así, el pueblo y las minas de San Luis Potosí se convirtieron en la ciudad de San Luis Potosí en 1656. A finales de la década de 1680 se otorgó a la ciudad un territorio de tres leguas y se construyó un desagüe para evitar los efectos desastrosos de las inundaciones provocadas por las corrientes que descendían de la sierra suroccidental. Para esa época, la ciudad tenía unos 2 000 habitantes y 24 000 en toda su jurisdicción (Monroy y Calvillo, 1997).

Otras fundaciones de la época se ubican en Santa María del Río (1610) y Guadalupe. Santa María de Charcas, Villa de Ramos (1608) y Guadalcázar (1615) se conformaron a partir del descubrimiento de las minas (Márquez, 1986). Se construyeron haciendas de beneficio y se hicieron pozos. También consta de la época la fundación de Rioverde (1617), Matehuala, Venado y Mexquitic.

Un aspecto a destacar en el desarrollo minero de la época fue la falta de técnicas en la extracción que provocaron la excesiva profundización de las minas y el posterior derrumbe. La red de caminos para el abasto era deficiente por lo que además, algunas minas dejaron de trabajar por falta de herramientas e insumos. Estos hechos, afectaron la producción de varios distritos mineros importantes de la región e iniciaron una crisis que no acabaría, a pesar de algunos períodos de prosperidad.

La visión demográfica y económica del siglo XVIII descrita por Monroy y Calvillo, (1997) muestra el inicio de la crisis minera y sus efectos. Comienza una tendencia de movilidad de la población hacia el principal centro urbano de la región y el surgimiento de actividades económicas alternativas. En los alrededores de la ciudad de San Luis Potosí crecieron los pueblos y barrios. Al este, San Sebastián, Tlaxcatilla y el nuevo barrio de San Cristóbal, se convirtieron en los más grandes. Los indígenas que allí vivían se dedicaban a la siembra de temporal, al cultivo de las huertas que regaban por acequias y al corte de leña. Estos barrios y pueblos eran los que proveían de víveres a la ciudad. En la ciudad, las condiciones sanitarias eran deplorables, la basura se acumulaba en plazas y calles, y el agua residual de las casas desaguaba por los caños y escurrimientos de las lluvias. La población hacia mitad del siglo XVIII se contabilizaba, según número de familias, en 2 147. En el Cerro de San Pedro había 110 familias dedicadas a la minería. El poblado de Santa María del Río contaba en 1735 con 500 familias dedicadas al cultivo de las huertas y a la siembra. Santa Isabel de Armadillo tenía 675 familias que trabajaban en la labranza. En San Nicolás se contaban en 1727, 114 familias dedicadas al curtido de pieles. San Miguel Mexquitic estaba dedicada al corte de leña y a hacer carbón que luego vendían en San Luis Potosí, había 266 familias en 1735. En San Pedro Guadalcázar se abandonaron las minas debido a la falta de herramientas e insumos para su extracción y las más de 100 familias estaban dedicadas al cultivo del maíz y la cría de ganado, recién en 1756 se reinicia la actividad minera con nuevas inversiones de capital. En el real y minas de Charcas había 50 familias y muchos indios asentados en las haciendas y rancherías de los alrededores dedicados a la cría de ganado al igual que la población de Venado. En el real de Matehuala había familias dedicadas al pastoreo y ocasionalmente trabajaban las minas. Hacia 1772, en Santa María del Cedral había 300 familias y a fines de siglo con las minas de Catorce habían crecido a 2 000.

Con el descubrimiento de los yacimientos de Catorce en 1772 se define una nueva etapa en la minería de la región. El Real de Catorce se convirtió en uno de los principales centros mineros del virreinato y colocó a San Luis Potosí entre las provincias más ricas. De esta etapa cabe resaltar los aspectos tecnológicos que dieron mayor coherencia a los sistemas de extracción y a las de redes de abasto. La organización social así como la

creciente riqueza extraída generó una intensa actividad comercial y permitió el crecimiento de las poblaciones ubicadas al norte de la ciudad de San Luis (Monroy y Calvillo, 1997).

A pesar de la riqueza de Real de Catorce, durante el siglo XIX continuó el decaimiento de la actividad minera, principal motivo de la exploración y conquista del territorio que hoy ocupa San Luis Potosí. La mayor parte de los mineros del estado se dedicaron a la agricultura en los mismos terrenos que antes sirvieron para uso de la minería. Así se formaron en los contornos de la ciudad y sus distritos varios terrenos de labores.

La hacienda, como unidad económica productiva se fortaleció con la introducción del arado de reja y la quita de impuestos. Las distancias a los centros poblados, su dispersión y las escasas comunicaciones las convirtieron en unidades autosuficientes donde vivían y trabajaban más del 80% de la población rural de estado, el doble del promedio nacional (Márquez, 1986). El resto del campo presentaba un aspecto desolador y sus habitantes se concentraban en las ciudades escapando de la pobreza.

Durante el reinado, el territorio de la Nueva España tuvo distintas divisiones. El actual estado de San Luis Potosí estuvo comprendido en las jurisdicciones de los Reinos de México y de Nueva Galicia, hasta que se estableció la división territorial conocida como sistema de intendencias que perduró hasta la consumación de la independencia (Monroy y Calvillo, 1997). La intendencia de San Luis Potosí, la más extensa del virreinato, tenía aproximadamente 548 352 km² y una población en 334 900 habitantes. Dentro de esta intendencia, la provincia de San Luis se extendía desde el río Pánuco hasta el de Santander y comprendía las minas de Charcas, Potosí, Ramos y Catorce (Monroy y Calvillo, 1997). En 1829, el estado libre de San Luis Potosí se reestructura en cuatro departamentos. El Departamento de la Capital, incluía el Partido de la Capital formado por los municipios de: San Luis Potosí, Cerro de San Pedro, San Miguelito, San Sebastián, Pozos, Soledad, Montecillo, San Juan de Guadalupe, San Miguel Mexquitic, Santiago del Río, Tlaxcala y Tequisquiapan. Esta división perduró hasta fines de la década del 1860.

En los inicios del siglo XIX se advierten concentraciones de 5 000 habitantes en Santa María de Río, Mexquitic y Venado entre otras, y de 19 000 habitantes en San Luis Potosí.

Para 1828 en todo el estado se contaban 298 230 habitantes y en 1849 había 367 330 habitantes resultando un crecimiento para el período de 21 años, de 69 100 habitantes. En 1855 la población estimada en la ciudad era de 33 580 habitantes y en los suburbios crecían, como producto de las migraciones, las Villas de Santiago y Tlaxcala al norte, Montesillo y San Sebastián al este, San Juan de Guadalupe y San Miguelito al sur y Tequisquiapan al oeste.

La actividad agrícola estaba reducida a cultivos de primera necesidad. Las cosechas estaban sujetas más a la casualidad que a la previsión debido a la falta de lluvias, los pocos ríos y la frecuente variación de las estaciones (Márquez, 1986). En los grandes llanos del norte y noroeste del estado, la cría de ganado crecía pero aún muy restringida por la falta de agua. En las haciendas se construían tanques en todos los bajíos y se procuraba excavar norias, que aunque muy profundas no tenían agua debido a la presencia de roca caliza en el subsuelo. La industria carecía de los recursos y el impulso para engrandecerla por lo que continuaba siendo artesanal. Destacaban la textil, la curtiduría y la minera. En el ramo minero, sólo el Real de Catorce se encontraba trabajando. La actividad comercial tenía como ventaja la ubicación geográfica del estado y de la ciudad en particular. Aunque la falta de caminos y transportes adecuados aún seguía siendo un obstáculo, San Luis Potosí se convirtió en un centro económico y mercantil importante para los estados vecinos. Se establecieron vínculos económicos en torno a la producción de textiles y algodón, y se reactivó el comercio con el interior del país por el camino de Valles. Para mediados de siglo XIX, la ciudad de San Luis concentraba más del 78% del total del movimiento comercial de importación y exportación del estado. Pero más de la mitad era de efectos extranjeros y la tercera parte de semillas y animales, ya que la industria no poseía los recursos necesarios para su estímulo. El desarrollo de estas actividades permitía el despunte de una economía diversificada, pero aún rudimentaria y dependiente de las definiciones de la actividad extractiva.

En 1861, la nueva constitución política reestructura el estado en 13 partidos con sus respectivas municipalidades (Villa de Mebius, 1988). El Partido de la Capital, al cual pertenecía la Municipalidad de San Luis Potosí con una extensión de 60 km de sur a norte

y 20 km de este a oeste, incluyó como barrios a los pueblos de alrededor de la ciudad que antiguamente eran municipalidades independientes.

2.3.1.2. Las rutas del comercio

Un aspecto a destacar de la estrategia de colonización fue la inhibición del intercambio entre ciudades que determinó, a diferencia del territorio europeo, primero el surgimiento de las ciudades y posteriormente la red de caminos para enlazarlas (Monroy y Calvillo, 1997). Si bien entre los factores que intervinieron en la conformación de la red de caminos de esta etapa se mencionan: la organización política y eclesiástica, el transporte para los abastos de la Corona y el transporte hacia la capital de los minerales beneficiados en la región, éste último fue el que en definitiva determinó su trazo y rumbo (Monroy y Calvillo, 1997). Desde San Luis hasta Querétaro, San Juan del Río y México, pasando por San Luis de La Paz y San Miguel; la ruta hacia el norte pasaba por Venado, Charcas y Matehuala; la ruta hacia Zacatecas pasaba por San Miguel Mexquitic y las Salinas del Peñón Blanco; otra ruta iba hacia Guadalajara. Esta red enlazaba los principales centros mineros del país y confluía en la capital.

Las rutas de norte a sur, prioridad de la autoridad virreinal se consolidaron con el crecimiento de la población, la reducción de los indígenas y el establecimiento de nuevos centros productivos. Sin embargo, las dificultades de comunicación y abasto que padecían las principales poblaciones de la provincia hicieron que los intereses de la población se orientaran a las rutas este-oeste por la cercanía con los puertos de Pánuco y Tampico (Monroy y Calvillo, 1997; Villa de Mebius, 1988). Estas rutas de abastecimiento, favorecieron un intenso intercambio entre el este y el oeste, así como el comercio ilegal (Monroy y Calvillo, 1997); llegaban hasta Pánuco puerto de enlace con Veracruz, pasando por la región de Río Verde, Valle del Maíz y Santiago de los Valles

En síntesis, se pueden mencionar tres características principales de la red vial de la época: los ejes norte-sur obedecían a la estrategia de la colonización; la falta de las trazas necesarias para promover el intercambio entre ciudades, impulso los vínculos con el exterior a través de la ruta este-oeste, que surge como una necesidad de la población; los caminos se caracterizaban por extenderse a muchas poblaciones en un radio muy corto y

con distancias largas para salvar los obstáculos naturales, afectando particularmente al comercio y la industria por el alto costo de transporte.

2.3.2. Segunda Etapa: fines del siglo XIX a mediados del siglo XX. La inversión extranjera, la industrialización y el auge del comercio.

2.3.2.1 Visión geográfica, económica y demográfica

En esta etapa un sistema de intereses económicos en el que la ciudad, la mina y la hacienda se entrelazaban y tendían a aumentar la industrialización y la monopolización, la mecanización, la extracción y la participación del capital extranjero, dieron como resultado cambios significativos en la estructura social y económica del estado. La construcción del ferrocarril y la industrialización con la apertura al capital extranjero, fueron los dos procesos innovadores más importantes que motivaron los cambios (Villa de Mebius, 1988). Del total de inversiones extranjeras en México, el 83% estaba en los ferrocarriles y la minería, los dos pilares de la estructura económica de San Luis. Este factor económico y social favoreció muchos aspectos de la producción y las capacidades de desplazamiento de bienes y personas.

San Luis Potosí quedó comunicado con el resto del país y el mundo a través del telégrafo, el teléfono y el ferrocarril. Entre 1888 y 1902 se tendieron en todo México 24 000 km de vía, financiados básicamente por capital norteamericano y en menor medida por Inglaterra y Francia, para extraer y comercializar el mineral beneficiado y para comunicar las zonas industriales donde abundaba mano de obra barata. El ferrocarril de San Luis Potosí iban desde las minas hasta entroncar con la línea principal que unía la ciudad de México con Laredo, las fundiciones, las fábricas y el puerto de Tampico, integrando así la cadena del ciclo metalúrgico.

Una característica notable del período es el desarrollo del ferrocarril vinculado con las inversiones en la industria y el comercio. Por su posición geográfica y como importante nodo ferroviario, la ciudad de San Luis se convirtió en un centro económico y mercantil de importancia para Guanajuato, Jalisco, Zacatecas, Chihuahua, Nuevo León, Coahuila, Tamaulipas, Querétaro y México. La creación de nuevas fábricas fue un fenómeno claro

desde 1880 y alcanzó su apogeo diez o quince años después, cuando la inversión extranjera se concentró en el sector de la actividad industrial (Monroy y Calvillo, 1997). La terminación de las vías férreas junto con la eliminación de impuestos estatales y municipales de importación y comercio, dieron lugar al período de más rápido crecimiento industrial durante el porfiriato entre 1895-1901 (Márquez, 1986). La principal fuerza industrial en el estado de San Luis Potosí fue la metalúrgica de la cual dependía el progreso de la minería. El estado llegó a ocupar el séptimo lugar nacional en valor-peso de la producción minera (3 549 972) y el segundo lugar en cuanto a la cantidad de personas empleadas en la industria minera (10 767) (Monroy y Calvillo, 1997).

En la región de la Huasteca de San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz, el desarrollo del ferrocarril se entrelazó con el petróleo. La instalación de un campo petrolero en esta franja costera, impulsó una importante red económica que estrechó los vínculos del altiplano potosino con el puerto de Tampico.

El fenómeno de la concentración de población en los centros urbanos favorecido por estos hechos no tardó en hacerse notar. La ciudad de San Luis Potosí en 1877 tenía 34 000 habitantes, cuando todo el estado tenía poco más de medio millón. En 1895 llegó a tener 69 000 habitantes mientras que la población del estado tenía 568 449. Con la concentración de la industria y la población, las necesidades de agua en la ciudad aumentaron y con ellas las carencias. En 1890 el gobierno concedió a manos privadas el sistema de abastecimiento, lo cual no resultó en mejoras para la población por lo que pasó nuevamente a manos de estado, y fue cuando el gobierno mandó a construir una presa en el poblado de Escalerillas la que fue concluida en el año 1903 y lleva el nombre de Presa San José (Monroy y Calvillo, 1997; Villa de Mebius, 1988).

La actividad industrial, a pesar de la inversión privada, no logró superar a la agricultura que había iniciado su expansión en el siglo XIX. Se construyeron gran cantidad de obras hidráulicas: norías, pozos, canales de riego, presas, abrevaderos, acueductos e incluso la presa San José, actualmente en uso. Se fundó el Centro Agrícola e Industrial potosino en 1905 que congregó a los agricultores e industriales más influyentes del estado. En los albores de la revolución de 1910 el valor de la producción agrícola estatal duplicaba al de

la minera (extractiva e industrial); el 80% de los potosinos vivía en el campo cuyo rasgo seguía siendo la pobreza y las grandes extensiones de tierra (haciendas) en manos de pocos propietarios (Monroy y Calvillo, 1997).

Los enfrentamientos en la década de 1910, debilitaron la economía regional y sólo la minería tuvo un leve repunte debido al aumento del precio de los metales por la Segunda Guerra Mundial (Villa de Mebius, 1988). Esto permitió la reactivación de la zona minera próxima a la región de Matehuala. Las condiciones de pobreza y falta de empleos propiciaron la movilidad de la población hacia los estados del norte y hacia los Estados Unidos de América (Monroy y Calvillo, 1997). El estado crítico de la industria y la economía, sobre todo la minería, que enfrentaba problemas de reclamos obreros y escasez de materia prima y combustible, debido a la inseguridad en el transporte ferroviario, persistió hasta 1923 cuando comenzó su reactivación. En 1916 se contaban en la capital del estado un total de 35 fábricas y talleres (Monroy y Calvillo, 1997).

En 1921 el estado de San Luis Potosí con 6 218 000 hectáreas contaba con una población de 628 000 habitantes (10.10 hab/km²), de los cuales 70 000 se concentraban en la ciudad capital (Monroy y Calvillo, 1997).

La depresión económica mundial de 1929 impactó de manera considerable en los sectores industrial y minero. Los trabajadores que representaban el 16% de la población activa del estado se vieron afectados ante la baja en el precio de los metales y la llegada de cientos de trabajadores que regresaban de Estados Unidos de América. En el campo, si bien el impacto fue menor la crisis del modelo agroexportador y el reparto agrario, producto de la revolución, iniciaron una etapa de estancamiento (Márquez, 1986). Esto afectó a los trabajadores agrícolas del estado que para ese entonces representaban el 83% de la población económicamente activa.

En la década de 1920, cuando la ciudad contaba con 100 000 habitantes, se construyeron importantes obras para la provisión de agua como la presa de Mexquitic y otras obras de irrigación.

La estabilidad en la política interna del país, el orden interno y la Segunda Guerra Mundial en la década de los cuarenta, permitieron la redefinición de nuevos espacios socioeconómicos. La principal función de la ciudad de San Luis continuó siendo la comercial. Se consolidaron los grupos vinculados al comercio, a la política, a las finanzas y a las profesiones liberales (PDUSLP, 2000). Surgieron los sectores medios, particularmente en la capital de San Luis donde se concentraban las principales plantas industriales. La economía local se favoreció con la demanda de materias primas de los Estados Unidos de América; las fábricas de casimires, mezclilla, guantes, fibras duras y dulces tuvieron un incremento notable en esos años. El acuerdo sobre braceros en 1942 permitió que los trabajadores potosinos, casi todos de origen campesino, emigraran temporalmente a Estados Unidos de América. Se fomentó la obra pública en la ciudad donde sobresalió la construcción de un sistema de agua y drenaje y la Presa del Peaje.

A partir de la década de los 40 comienza un proceso de concentración de actividades y población. El establecimiento de las embotelladoras de refrescos como Coca Cola, Pepsi y Aga, y de importantes cadenas comerciales respondían al crecimiento urbano de características cada vez más complejas (PDUSLP, 2000). Para la década de 1950 la población de San Luis Potosí ascendía a 162 000 habitantes y la del estado a 856 000.

2.3.2.2 Construcción de la red troncal

La política nacional de transporte de esta etapa se basó en la comunicación de las principales localidades y las zonas productivas, con la capital del país. Se construyó gran parte de la red troncal norte sur, condicionada por las relaciones comerciales con Estados Unidos y se fortaleció el centralismo con la capital del país (Chías, 1995).

En este contexto nacional, Porfirio Díaz inauguró oficialmente en la ciudad de San Luis Potosí, la línea troncal norte sur que conecta Laredo con la capital del país. La apertura del puerto de Tampico, al concluirse el ramal San Luis Potosí-Tampico, permitió a la ciudad recuperar su rango como gran centro de distribución para México, rango que ocupaba antes que se estableciera la comunicación ferroviaria entre Veracruz y la ciudad de México en 1873. El recorrido de 653 km desde que deja la línea principal, a unos kilómetros de Aguascalientes, conecta a Tampico con la ciudad de Aguascalientes,

pasando por el pueblo de Salinas del Peñón Blanco, la ciudad de San Luis Potosí y el pueblo de Cerritos (Márquez, 1986). La construcción de esta línea convirtió a San Luis en centro de abastecimiento para los estados vecinos, como Guanajuato, Guadalajara, Zacatecas, Chihuahua, Monterrey, Coahuila, Tamaulipas, Querétaro y México.

La configuración de red de transporte terrestre, siguiendo la política nacional, comunicaba la ciudad de San Luis Potosí con las ciudades de Querétaro, México, Monterrey, Zacatecas, Aguascalientes, Tula y Tampico. Los caminos de menor envergadura que comunicaban las poblaciones del estado partían desde San Luis Potosí a Guadalcázar y Río Verde; desde Río Verde a Guadalcázar, Rayón y La Palma, Ciudad del Maíz, San Luis de la Paz, San Ciro y Santa María Acapulco; desde la Ciudad del Maíz a Valles, Tula y Matehuala; desde Valles a Río Verde, México y Tampico y desde Axtla a Tampico.

2.3.3. Tercera etapa: mediados del siglo XX a la actualidad. La concentración de la población y las actividades.

2.3.3.1 Visión geográfica, económica y demográfica

Desde mediados de siglo XX se incrementaron notablemente las inversiones directas (locales, nacionales y extranjeras) en actividades productivas, que conjuntadas a los incentivos fiscales y crediticios y la inversión en infraestructura urbana, consolidaron las bases de una ciudad industrial. Las estrategias del Plan Nacional de Desarrollo Urbano y Vivienda (PNDUV) de 1984, en el marco de apoyo a la relocalización de las actividades económicas y la población, tuvo como centro las ciudades medias. En este sentido la Zona Metropolitana de San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez fue ampliamente favorecida con inversiones en infraestructura provenientes de programas como el Fondo de Inversiones Financieras para Agua Potable y Alcantarillado (Fifapa) de Banobras, que constituyeron un factor locacional importante para las inversiones económicas y aumentaron los niveles y la calidad de vida de la población (Aguilar *et al.*, 1996). Asimismo con la designación de ciudad industrial dentro del mismo Programa, recibió beneficios que consistieron en créditos para el fomento y promoción de proyectos, que impulsaron particularmente la industria en ramos como el metal-mecánico, químico, alimenticio, textil, del calzado, del mueble y de la construcción (PDUSLP, 2000; Aguilar *et al.*, 1996).

La interrelación existente entre las actividades de servicio y los sectores productivos de la región, impulsó la localización de nuevos establecimientos. Los factores geográficos, económicos y políticos que favorecieron la conformación de San Luis Potosí como centro industrial, fueron aprovechados para convertir y consolidar la ciudad como centro intermediario y de servicios de nivel regional (PDUSLP, 2000).

Los cambios de una sociedad agrícola, a una industrial y de servicios provocaron transformaciones del empleo y los mercados de trabajo en todo el estado, y fue la base del crecimiento urbano desde la segunda mitad de siglo XX. En las últimas décadas, el proceso de concentración urbana en la ciudad de San Luis Potosí ha sido resultado de los movimientos de población, preferentemente desde los centros urbanos del estado de más de 15 000 habitantes. Este proceso se ha dado de manera acelerada y sostenida; en 1970 con un área urbanizada de 4 000 hectáreas y una población de 259 100 habitantes, iniciaba la conurbación de la ciudad capital y la vecina localidad de Soledad de Graciano Sánchez. En el año 2000 las dos ciudades conurbadas concentran el 35% de la población total del estado, mientras el 44% se distribuye en localidades dispersas con menos de 5 000 habitantes.

El estancamiento del sector agropecuario iniciado en el segundo período, se acentuó en las últimas décadas y redujo considerablemente la población económicamente activa ocupada en el sector. En el año 1929 el 83% de los trabajadores de todo el estado se ocupaban en esta actividad, en el año 1970 se redujo al 53% y en 1990 sólo alcanzaba al 31% (Durand *et al.*, 1999). Varios factores han intervenido en la depresión del sector, baja rentabilidad, aumento en los precios de los insumos, falta de financiamiento y de apoyos institucionales (bajos presupuestos en programas de apoyo al campo; investigación, asistencia técnica, capacitación, infraestructura para la producción, acopio y comercialización), que se tradujeron en empobrecimiento y bajos niveles de bienestar de la población rural (PDUSLP, 2000). La producción agrícola actual del estado en su mayor parte es de temporal y destinada en un 46.5% al autoconsumo y 43% al mercado nacional. A nivel de municipios conurbados estos cambios económicos se reflejan en la evolución de la población económicamente activa (PEA). Para el año 1970 en el municipio de San

Luis Potosí el porcentaje de empleos primarios era poco más del 9%, la industria de transformación empleaba al 23% de la población, el comercio el 14% y los servicios el 25%; el municipio de Soledad de Graciano Sánchez seguía siendo de característica predominantemente rural, la población que trabajaba en agricultura y ganadería era del 33.5%, mientras el 20% trabajaba en la industria de transformación, el 11% en el comercio y el 12% en los servicios (Durand et al., 1999). Hacia 1990, la agricultura en la ciudad capital prácticamente había desaparecido, sólo un 2% de los trabajadores estaba ocupada en ella, la industria manufacturera ocupaba un 24%, el comercio un 20% y los servicios (personales y de mantenimiento) el 12%. En el municipio de Soledad la población ocupada en la actividad agrícola y ganadera se había reducido al 4%, en tanto la industria manufacturera ocupaba el 29%, el comercio el 17% y los servicios (comerciales y sociales) más del 12% (Durand et al., 1999). En los municipios que limitan la zona conurbada tales como Zaragoza, San Pedro, Mexquitic y Armadillo de los infantes, la población económicamente activa oscila entre los sectores secundarios y terciarios.

El débil crecimiento de la actividad industrial en la década de los ochenta estuvo marcado por la situación política que afectó la inversión y el empleo, y reorientó la economía al sector del comercio y los servicios (Durand *et al.* 1999). La crisis de esta década impactó fuertemente en el crecimiento de la ciudad y produjo un rezago con respecto a otras ciudades medias del centro del país (PDUSLP, 2000). A pesar de ello, a nivel estado la fuerte polarización de la economía y la población a favor de la zona metropolitana, produce un desequilibrio difícil de revertir. La industria en el área de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez creció de 1 617 unidades económicas en el año 1988, a 2 717 en el año 1993, concentrando el 49% del total de unidades del estado. Gran parte de estos establecimientos se localizan en dos zonas industriales en plena operación: Zona Industrial de San Luis Potosí y Zona Industrial del Potosí, en el sector sureste de la ciudad. A nivel estatal es el segundo sector en aporte al PIB, pero el primero en aporte al PBT municipal, lo que da una idea del nivel de desarrollo del sector localizado en la zona metropolitana, en especial de las ramas de productos alimenticios, bebidas, tabaco y metálicas básicas.

En los últimos años, el comercio y los servicios se convirtieron en la fuente principal de empleo y en el primer sector generador del PIB del estado. En el período 1970-1990 el porcentaje de empleados ocupados en el sector se incrementó del 23% al 47%. La distribución espacial del sector, al igual que la industria, se concentra en el área metropolitana de San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez que en 1993 tenía el 49.6% del comercio y el 52.7% de los servicios de todo el estado.

El crecimiento económico de San Luis Potosí queda expuesto por su contribución al PIB nacional que en el período 1970-1993 fue de 1.56% y 1.77% respectivamente, superior al de los estados de Aguascalientes, Hidalgo, Querétaro y Zacatecas. Hacia fines de la década de los 90, el aporte se mantenía sin mayores cambios. La concentración de la actividad productiva en la zona metropolitana de San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez contribuye a aproximadamente el 50% del PIB estatal.

La dimensión económica y social que alcanza la zona metropolitana la posiciona en el lugar 13 del sistema nacional de asentamientos propuesto en 1990 por el Instituto de Geografía de la UNAM (PDUSLP, 2000). A partir de ella se reestructuran y subordinan los municipios y localidades más próximos como Mexquitic, Zaragoza, Ahualulco, Villa de Arriaga, Soledad de Graciano Sánchez, Armadillo de los Infante y Cerro de San Pedro; otros un poco más distantes como Villa de Reyes y Santa María de Río mantienen una autonomía relativa, pero que no escapan a su influencia.

En un contexto general su influencia se extiende en todo el estado hasta el límite con la Huasteca. Esta limitación se debe al desarrollo de dos zonas claramente diferenciadas por sus características climáticas: las tierras cálidas y bajas de la Huasteca que se mantienen unidas a la economía de Tampico que actúa como centro de la región; y el altiplano que cubre el 90% del estado, árido y montañoso, desarrollado a partir de la minería y vinculado a la ciudad de San Luis Potosí. Fuera del estado la influencia de la Zona Metropolitana llega hasta Nuevo León, parte de Tamaulipas, Guanajuato y Jalisco (PDUSLP, 2000). Esta influencia se favorece por la intercomunicación carretera, que permite además la interacción con las ciudades de Monterrey, Aguascalientes, León, Querétaro, Ciudad de México y Tampico. Aunado a ello, su posición geográfica en el triángulo que forman las

zonas metropolitanas más importantes del país, México, Monterrey y Guadalajara, le proporcionan la condición de ciudad bisagra y excelentes oportunidades de integración a la economía nacional.

2.3.3.2. Las rutas estratégicas de vinculación

El impacto del desarrollo urbano-industrial impulsó un cambio en la política de transporte que modificó la estructura vial con la construcción de caminos de penetración y vinculación (Chías, 1995). La ventaja de la posición geográfica, que anteriormente la benefició como importante nodo ferroviario, la convirtió en un importante centro de enlace carretero con otras regiones del país. La carretera federal número 57 México–Piedras Negras, corredor estratégico en la articulación nacional con el sur de Estados Unidos de América, comunica la ciudad de México con la capital del estado de Nuevo León atravesando el territorio potosino de sur a norte pasando por las ciudades de San Luis Potosí, Matehuala, Saltillo y Monterrey. La carretera número 70 Tampico–Barra de Navidad (Jalisco) la comunica con la cuenca del Pacífico, cruza el estado de este a oeste pasando por ciudades como Valles, Rioverde, San Luis Potosí, Aguascalientes y Guadalajara. La carretera número 49 entronca con la carretera 45 México–Ciudad Juárez, comunicando las ciudades de San Luis Potosí, Zacatecas y Torreón. La red rural del estado beneficia aproximadamente a 450 000 habitantes que residen en 760 localidades, las comunidades que han quedado rezagadas del sistema se localizan en lugares de difícil acceso que imposibilita la construcción de la infraestructura de caminos (PDUSLP, 2000).

La red carretera es reforzada por las vías ferroviarias que la ubican como un centro estratégico para el comercio y estación de transferencia de productos manufacturados y materias primas, en el marco del Tratado del Libre Comercio (TLC) con los países (PDUSLP, 2000).

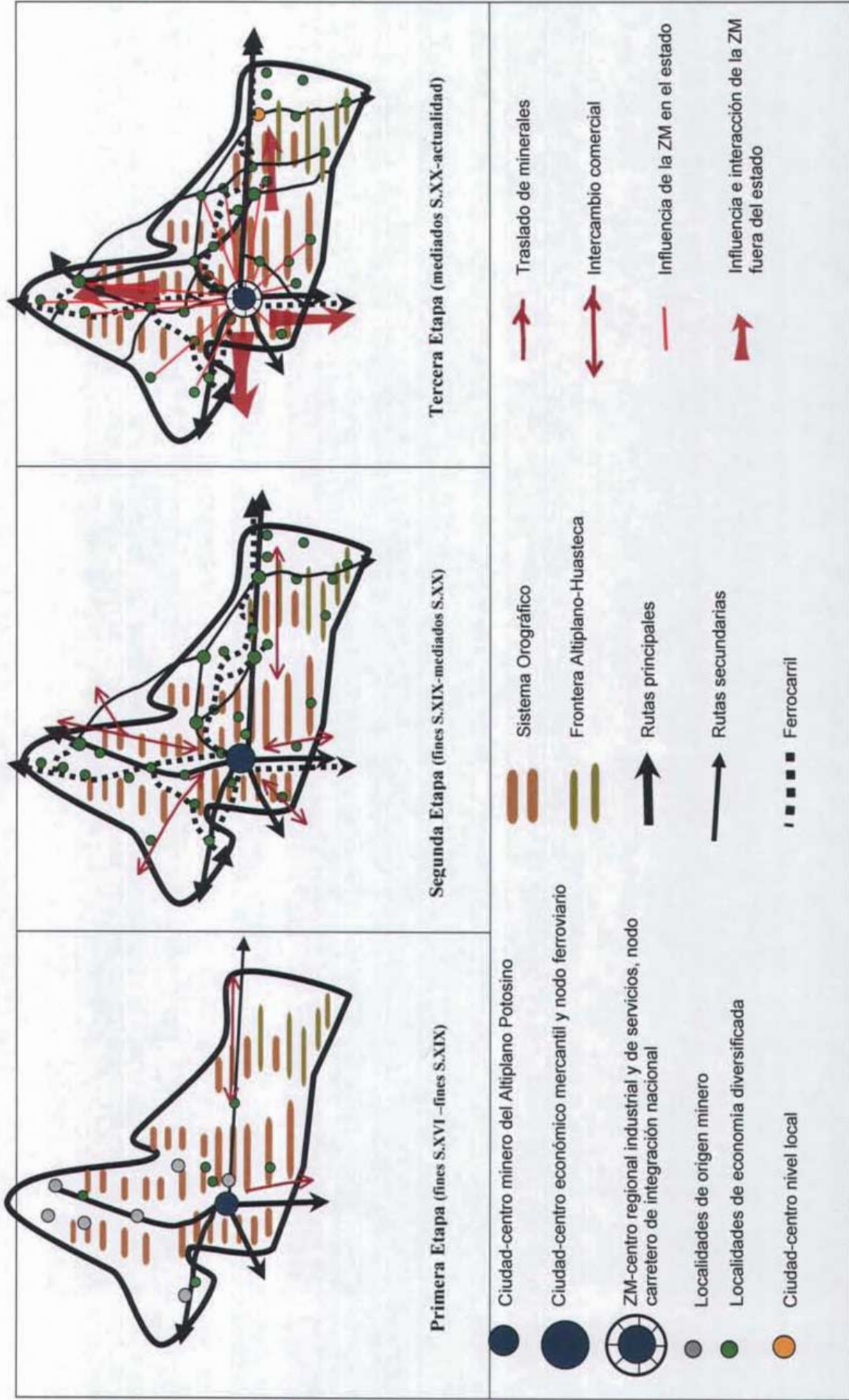
En la **Tabla 2.1** se sintetizan los principales procesos regionales y urbanos y las relaciones que se establecen entre los ámbitos sociales y los naturales, que dan lugar a las tres etapas históricas definidas. La representación de la conformación de la ciudad y su área de influencia a través de un corema (**Figura 2.5**), presenta una visión simplificada del proceso histórico desarrollado.

Tabla 2.1. Relación temporal naturaleza sociedad de los procesos regionales y urbanos

	Procesos Regionales	Relación naturaleza sociedad	Procesos Urbanos
Primera Etapa (fines S.XVI –fines S.XIX)	<p>Aprovechamiento de los recursos naturales asequibles (minerales, hídricos, forestales, suelos).</p> <p>Limitaciones tecnológicas en el aprovechamiento de los recursos y el transporte.</p> <p>El eje carretero norte sur con función de abasto a la corona, el este oeste de intercambio y comunicación de poblaciones.</p>	<p>Los recursos minerales determinan el perfil productivo regional, la localización de poblaciones y la red de caminos.</p> <p>Los aspectos tecnológicos y de inversión impulsan el abandono de algunos centros de producción.</p> <p>El agua factor clave para el beneficio de los minerales y las poblaciones.</p>	<p>La actividad productiva consolida los asentamientos más importantes.</p> <p>Fortalecimiento de la ciudad de San Luis Potosí como, centro económico y administrativo regional.</p> <p>Desarrollo de la traza urbana y de pueblos y barrios periféricos proveedores de materias primas.</p>
Segunda Etapa (fines S.XIX-mediatos S.XX)	<p>Apertura al capital extranjero en ferrocarriles e industria.</p> <p>Monopolización y tecnificación del transporte y la economía.</p> <p>La red de transporte fortalece el centralismo del país y el comercio con Estados Unidos.</p> <p>La agricultura concentra el 83% de la PEA.</p>	<p>Las inversiones favorecen la producción y el desplazamiento de bienes y personas.</p> <p>Los cambios en la estructura social y económica, determinan cambios de uso de suelo.</p> <p>Se desarrollan las haciendas como unidades económicas productivas rurales.</p>	<p>La ciudad, importante nodo ferroviario, se fortalece como centro de comercio regional.</p> <p>La población se moviliza hacia la ciudad, se desarrolla un espacio periurbano rural y aumentan las necesidades de abastecimiento de agua.</p> <p>La redefinición económica consolida nuevos grupos sociales (comercio, política, finanzas, industria).</p>
Tercera Etapa (mediados S.XX- actualidad)	<p>Cambio de la sociedad agrícola a una industrial y de servicio, se transforma el empleo y el mercado de trabajo.</p> <p>Las localidades de importancia microregional y local pierden población.</p> <p>Se polariza la economía y la población a favor de la capital del estado.</p>	<p>La descapitalización de la agricultura favorece la migración a la capital del estado.</p> <p>La urbanización avanza sobre tierras agrícolas, ejidales y áreas de valor ambiental.</p> <p>Se profundizan los impactos al ambiente a causa de la urbanización (erosión, contaminación).</p> <p>Se acentúa la competencia por los usos de agua rural y urbano</p>	<p>Se favorecen las inversiones en infraestructura y los créditos para la industria.</p> <p>La industria impulsa las actividades terciarias y la concentración de la población.</p> <p>La influencia de la ciudad se expande a los estados vecinos.</p>

Fuente: Elaboración Propia

Figura 2.5. Corema del proceso de conformación de la ciudad y su área de influencia en el largo plazo (S.XVI-S.XX)



3. Cambios espaciales: conformación de la zona metropolitana y su expansión

3.1. La expansión y conurbación

La ciudad de San Luis Potosí se ubica de manera favorable dentro del sistema económico nacional, y todo hace pensar que seguirá consolidándose y acrecentando su liderazgo económico en la región. Hasta 1950, la ciudad con 160 000 habitantes se extendía en 1 250 hectáreas; ya en 1970 la población de 259 100 habitantes ocupaba 4 400 hectáreas. A finales de esta década, la ciudad que hasta entonces había crecido sobre su periferia inmediata comienza a extenderse hasta incorporar la Delegación de Pozos al sureste y el municipio de Soledad de Graciano Sánchez. En sólo 20 años el área urbana de San Luis Potosí experimentó un notable incremento al pasar de 411 544 a 798 782 habitantes en el período 1980 - 2000, aumentando más del 10% la participación de población en el total estatal (Tabla 3.1.). La población de la zona metropolitana se compone de 629 208 habitantes del municipio de San Luis Potosí (el 93.8% del total municipal) y de 169 574 habitantes del municipio de Soledad de Graciano Sánchez (el 94.5% del total municipal), lo que indica que casi la totalidad de la población de ambos municipios es urbana (PCPE SLP.SGS, 2003).

Tabla 3.1. Evolución de la población y porcentaje de participación estatal

	1980		1990		2000	
	habitantes	%	habitantes	%	habitantes	%
Estado	1 673 893	100	2 003 187	100	2 299 360	100
Zona Metropolitana	411 544	24.58	613 181	30.61	798 782	34.73
San Luis Potosí	362 371	21.64	489 238	24.42	629 208	27.36
Soledad de G. Sánchez	49 173	2.93	123 943	6.18	169 574	7.37

Nota: Los datos de SLP y SGS corresponden a la población del área urbana.

Fuente: Censo General de Población y Vivienda 1980, 1990, 2000 INEGI

Un análisis de la tasa de crecimiento en los períodos 1970-1980, 1980-1990 y 1990-2000 para el total de la zona metropolitana y para las áreas urbanas de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez muestra lo siguiente (Tabla 3.2.): el crecimiento de la zona metropolitana es superior al estatal en los dos primeros períodos, en el último período

desciende y tiende a estabilizarse respecto al crecimiento del estado; el área urbana de San Luis Potosí muestra un crecimiento descendente hacia los últimos años, en tanto el área urbana de Soledad de Graciano Sánchez crece más rápido que la ciudad central, en todos los períodos la tasa de crecimiento supera la de San Luis Potosí sobresaliendo el decenio 1980-1990 con 9.69. Este es un rasgo típico del surgimiento de la periferia dentro del proceso de metropolización, concepto que será tratado como sinónimo de conurbación, si bien este último corresponde sólo a uno de los cambios territoriales (Delgado; 1993).

Tabla 3.2. Población y tasas de crecimiento

	Zona Metropolitana			San Luis Potosí			Soledad de G. Sánchez		
	1970-1980	1980-1990	1990-2000	1970-1980	1980-1990	1990-2000	1970-1980	1980-1990	1990-2000
Población Inicial	259 100	411 544	613 181	230 039	362 371	489 238	29 061	49 173	123 943
Población final	411 544	613 181	798 782	362 371	489 238	629 208	49 173	123 943	169 574
Incremento	152 444	201 637	185 601	132 332	126 867	139 970	20 112	74 770	45 631
Tasa	4.73	4.07	2.68	4.65	3.05	2.55	5.4	9.69	3.18

Nota: Los datos de SLP y SGS corresponden a la población del área urbana.

Fuente: Censo General de Población y Vivienda 1970, 1980, 1990 y 2000 INEGI

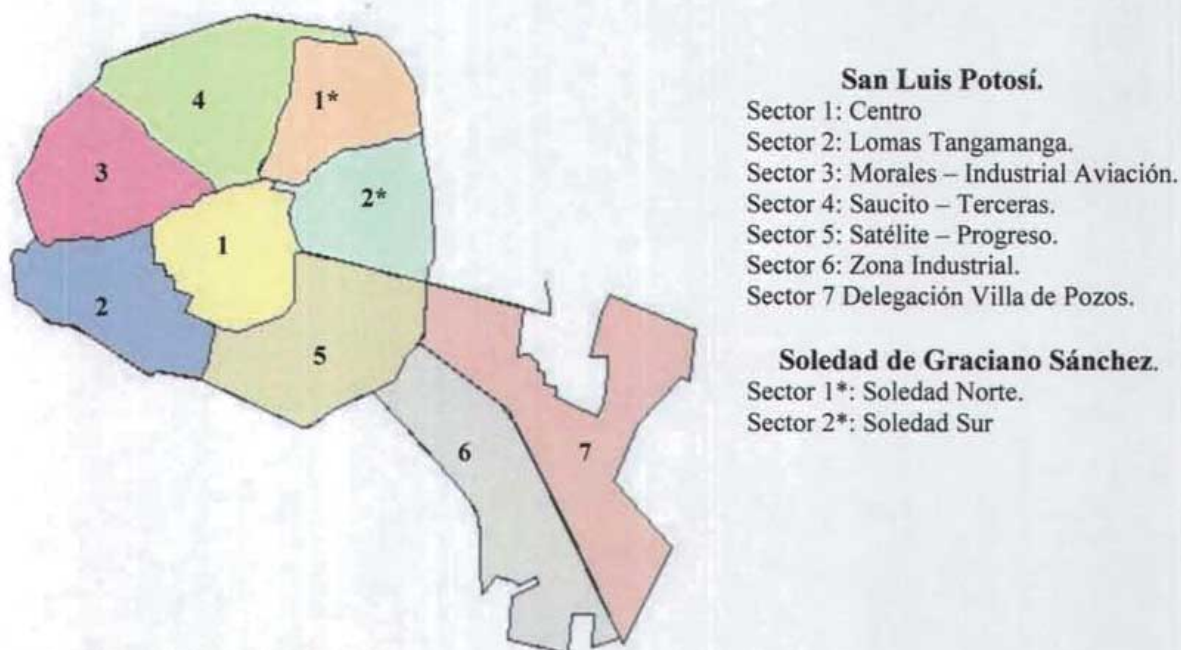
Si bien el aumento de la población es notable, el crecimiento de la ciudad fue mucho mayor. El Plan del Centro de Población Estratégico San Luis Potosí – Soledad de Graciano Sánchez (2003) considera al área urbana actual delimitada, casi en su totalidad, por el anillo periférico involucrando al este y noreste la zona urbana de Soledad de Graciano Sánchez, al sureste la zona industrial y la Delegación de Pozos (**Figura 3.1**), teniendo como marco la Sierra de San Miguelito al oeste y sur, y la Delegación de La Pila al sur. El área así delimitada comprende 16 790 hectáreas, con una densidad de 48 habitantes por hectárea.

Para observar la distribución del crecimiento al interior de la zona urbana definida se considera la división en 9 sectores, 7 de los cuales corresponden a la ciudad de San Luis Potosí donde habitan 629 208 habitantes, y 2 a la ciudad de Soledad de Graciano Sánchez donde reside una población de 169 574 habitantes (**Figura 3.1**). Los sectores de

San Luis Potosí que mostraron alta tasa de crecimiento en el período 1990-2000 corresponden al 4, 5 y 7 con valores entre 5.1 y 6.2, en contraste con el centro (sector 1) que presenta una tasa negativa de -1.4; en lo que corresponde a Soledad de Graciano Sánchez el sector 2* es el que ha concentrado el mayor crecimiento con una tasa de 4.1 para igual período (PCPE SLP.SGS, 2003).

Los sectores que muestran el mayor incremento en la densidad de población para el período 1990-2000 corresponden al 3, 5 y 7, con densidades de 61.6, 81.6 y 41.0 habitantes por hectárea respectivamente para el año 2000. El centro (sector 1) si bien es el que muestra la mayor densidad de toda la zona urbana, para el período 1990-2000 registra un decremento de 110.6 a 95.8 habitantes por hectárea. En tanto en Soledad de Graciano Sánchez se aprecia el mayor incremento en la zona sur que llega a tener 79.1 habitantes por hectárea en el año 2000 (PCPE SLP.SGS, 2003).

Figura 3.1. Sectorización del área urbana



Tomado de PCPE SLP.SGS, 2003

El crecimiento y la densificación del sector 5, 7 (Villa de Pozos) y sector 2* de Soledad de Graciano Sánchez para el período considerado, se explica por la construcción habitacional de niveles medios bajos y bajos que se concentran detrás de la industria y los servicios en forma acelerada, ya sea por su cercanía a las fuentes de trabajo o los menores costos de la tierra. Asimismo cabe destacar que corresponden a sectores con urbanización más reciente, teniendo en cuenta que la industria en San Luis Potosí se reactiva desde 1990, después de la crisis de los años 1980. Un efecto de la industrialización en las primeras etapas en muchas ciudades de América Latina es la atracción de población de otros estados y de localidades del mismo estado, debido a la generación de empleo. La población migrante, mayormente de sectores sociales bajos, se disponen en las proximidades de las zonas industriales generando asentamientos irregulares, que se consolidan paulatinamente con la dotación de servicios y la construcción de viviendas, en general de tipo popular y precaria.

El sector 4 que crece asociado a la industria y los servicios, a pesar de la distancia a los parques industriales, corresponde a áreas de viviendas tipo INFONAVIT construidas en la última década.

El sector 3 no muestra una alta tasa de crecimiento para el período 1990-2000 debido a que la población se establece en la zona desde la década de 1960 y especialmente desde 1970, correspondiendo a los sectores más antiguos de la ciudad, pero muestra incremento en la densidad, si bien menor a la de las zonas populares. Esto se explica por la presencia del campo universitario, la infraestructura recreativa y de servicios, la distancia a las zonas de descarga de agua residual, la cercanía a la Sierra San Miguelito, que favorecieron el asentamiento residencial de niveles sociales medios y altos.

El patrón final expresa: i) el despoblamiento central dado por la tasa negativa de crecimiento y la disminución de la densidad de población, ii) una especialización funcional hacia la periferia con la localización del comercio y la industria, y iii) una segregación socioespacial hacia los lugares de mejor calidad paisajística y de servicios. Estas características marcan el inicio de la fase de metropolización, que posteriormente se acentúa en la urbanización difusa (Delgado, 2003a).

3.1.1. Cambios espaciales, proceso de descentralización y segregación urbana

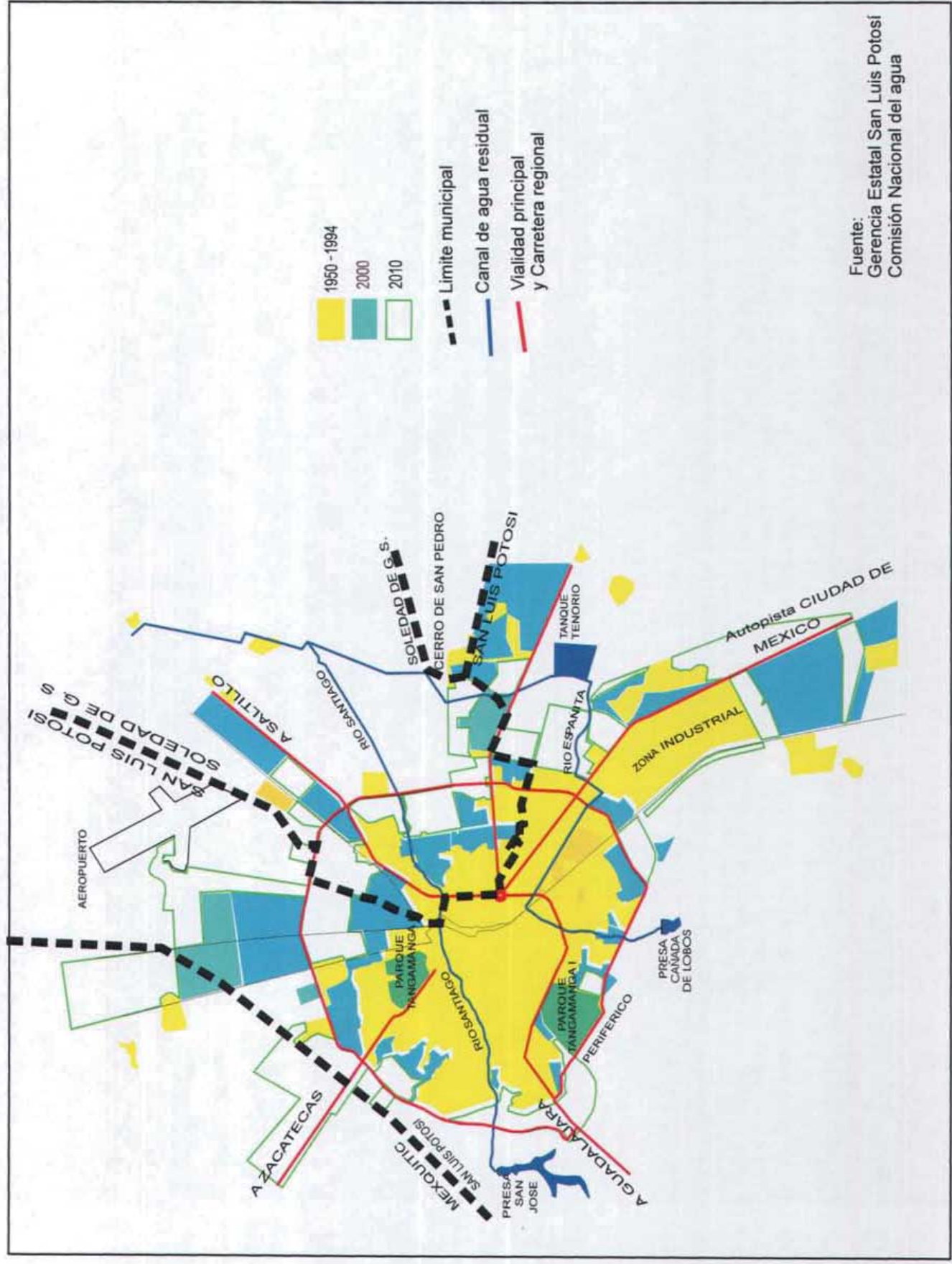
La original traza urbana de la ciudad que data de principios del siglo XVII fue ortogonal, limitada por los cursos de agua superficial que actuaban de barrera natural. En general esta traza no se modificó sustancialmente en mucho tiempo, el proceso de crecimiento siguió la típica modalidad a partir del núcleo central.

Entre los años 1960 y 1970 la construcción habitacional en la ciudad se expande de manera significativa. Paralelamente inicia un proceso de descentralización con la creación de centros comerciales en las colonias Himno Nacional y Polanco ubicadas al sur y oeste del centro histórico respectivamente, la creación de la zona universitaria de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí al oeste, la construcción y operación de la Zona Industrial y la Central de Abastos. La dinámica urbana se refuerza con el desarrollo de la infraestructura vial que interconecta los barrios tradicionales, el centro de la ciudad y los nuevos desarrollos habitacionales, comerciales, laborales y de servicios (Figura 3.2).

Hacia los años ochenta, las necesidades habitacionales y de equipamiento de la ciudad en expansión dan lugar a la expropiación del Ejido Garita de Jalisco para convertirlo en Parque Tangamanga, Centro Comercial y Fraccionamiento del mismo nombre. El cauce del Río Santiago se transforma en vialidad y se amplía la antigua carretera Tampico-Barra de Navidad quedando conformado lo que actualmente se conoce como Anillo Intermedio Circuito Vial Salvador Nava – Río Santiago (PCPE SLP.SGS, 2003). Este circuito delimitó casi la totalidad del área urbana de la época y se convirtió en el principal expansor-articulador de la periferia (Figura 3.2).

A partir de esa época, y a pesar de los esfuerzos de planeación, regulación, control y conservación, el crecimiento rebasa los límites definidos siguiendo la modalidad radial a lo largo de las principales carreteras regionales articuladas por el denominado Anillo Intermedio (PCPE SLP.SGS, 2003). Se desencadena una dinámica de crecimiento sin control efectivo que obliga al cambio de uso de suelo en respuesta a varios factores: las necesidades habitacionales de los nuevos migrantes atraídos por las fuentes de empleo, las operaciones especulativas de suelo para fraccionamientos residenciales y comerciales,

Figura 3.2 Crecimiento urbano Zona metropolitana San Luis Potosí - Soledad de Graciano Sanchez



Fuente:
 Gerencia Estatal San Luis Potosí
 Comisión Nacional del agua

los requerimientos para la dotación de equipamientos e infraestructura. Los negocios inmobiliarios se vuelcan hacia las tierras agrícolas del este de la ciudad; siguiendo la carretera a Ciudad Valles se construyen los primeros fraccionamientos de vivienda residencial campestre: La Florida y Real del Potosí, los cuales presentan una problemática muy particular porque parte de los terrenos se ubican en los límites de los municipios de San Luis Potosí y San Pedro (Figura 3.2).

Las viviendas de tipo residencial se desarrollan hacia el oeste de la ciudad, a ambos lados de la Av. Venustiano Carranza y el club Campestre de San Luis. Corresponde al pie de monte de la Sierra San Miguelito y constituye parte del área de recarga del acuífero somero, mismo que durante más de tres siglos y medio (XVII-XX) abasteció la ciudad. Las ventajas que ofrece este sector están definidas por la calidad paisajística, la accesibilidad a los puntos de interés de la ciudad, la infraestructura comercial y de servicio, el equipamiento de áreas verdes urbanas como explanadas, plazas, jardines y parques urbanos asociados a las zonas residenciales para ingresos altos y medios, la lejanía a las zonas de descarga de agua residual y las mejores condiciones de temperatura. De esta manera, lo que en algún momento representó una barrera física para el crecimiento urbano, hoy se convierte en una ventaja comparativa respecto al sector este de la ciudad, impulsando el desarrollo de fraccionamientos residenciales e infraestructura recreativa para clases sociales altas, que ascienden progresivamente por la ladera de la sierra en el área de recarga del acuífero profundo.

Coexiste en el sector oeste la empresa Industrial Minera México S.A de C.V. (IMMSA) fundidora de cobre y zinc, instalada desde hace más de 100 años. Las emisiones de dióxido de azufre (SO_2) a la atmósfera como producto del manejo de minerales sulfurados, así como de partículas conteniendo metales pesados como plomo, arsénico y cadmio, constituyen una importante fuente de contaminación de aire y suelo para el sector, los cuales han sido detectados en altos niveles. Como resultado se estableció desde hace más de 10 años, un sistema de vigilancia consistente en 11 estaciones automáticas de monitoreo atmosférico que miden dióxido de azufre, partículas suspendidas totales y otros parámetros meteorológicos en la periferia de las instalaciones de la empresa, y se han

evaluado y definido propuestas de restauración y control para dar solución al problema de contaminación de suelo.

La vegetación natural de la zona de estudio ha tenido importantes impactos antropogénicos que constan desde el siglo XIX en las referencias históricas. Iturrigarria (1855) se refiere a la abundancia de especies vegetales que se producen espontáneamente en los alrededores de San Luis Potosí; el árbol del Pirúl (*Sehimus Molle*), el álamo blanco, el olmo, el álamo verde, el sauz tepozán (*Buldecía americana*), mezquite (*acacia*), huizache (*acacia Alavicans*), ciprés, fresno, nopal, maguey, la palma; en las partes altas de las montañas: encinos, manzanillo, pino madroño y otras maderas de construcción. Desde 1906, Pax Magazine International sugería que la tala de los bosques era la causa principal de las sequías que afectaban a la región; los gobiernos que para ese entonces reconocían este efecto, trataron de evitar la explotación irracional de madera pero sin mucho éxito. La expansión residencial y de recreación al oeste de la ciudad, ejerce un nuevo elemento de presión sobre las áreas prioritarias de valor ambiental y recarga del acuífero (somero y profundo). La creación de viveros, las campañas de reforestación de los últimos años, y la delimitación de 1 544 hectáreas como Área Natural Protegida en la modalidad de Parque Urbano, son algunas de las acciones que intentan poner límite a la urbanización en áreas prioritarias y tratan de recuperar en parte las condiciones naturales del entorno. El parque urbano comprende dos sectores el "Paseo de la Presa" en el acceso y zona adyacente a la Presa San José, y el "Ejido San Juan de Guadalupe" localizado en la Sierra de San Miguelito colindando con los fraccionamientos, considerado como zona sujeta a conservación ecológica.

Los asentamientos irregulares se desarrollaron como producto de la migración en tierras ejidales dentro de la zona urbana o en los fraccionamientos populares antiguos, carentes de servicios básicos e infraestructura. Estos sectores y los de viviendas tipo INFONAVIT localizados al sur, norte y este de la ciudad, ejercieron una fuerte presión en los servicios de agua y drenaje; si bien estas necesidades se fueron cubriendo continúan siendo los sectores más afectados en el abastecimiento de agua (**Figura 3.2**).

La expansión de la ciudad y su patrón de crecimiento modificaron la percepción que había mantenido la ciudad hasta la primera mitad del siglo XX. El centro, como espacio de confluencia comienza a perder sus funciones con la aparición de subcentros en el primer contorno tal como el Barrio de Tequisquiapan y la Colonia Industrial Aviación. El fortalecimiento selectivo de ciertos nodos en la periferia con la modernización de la vialidad y la inversión privada en centros comerciales con tiendas transnacionales, transformaron la imagen urbana. En las últimas décadas es notable el despoblamiento del centro debido a la sustitución de usos del suelo; la tasa de crecimiento para el período 1990 – 2000 descendió en 1.42, pasando de 180 484 a 156 320 habitantes, en tanto la densidad bajó de 110.6 a 95.8 habitantes por hectáreas, a pesar que continúa siendo el sector más densamente habitado. El despoblamiento se atribuye a varios factores: el deterioro físico de los edificios históricos debido a la falta de mantenimiento, la pérdida progresiva de la vivienda en alquiler, los cambios de usos de suelo que favorecen los usos más rentables (particularmente comercios y servicios) en detrimento de los habitacionales, la descentralización de actividades ligadas a servicios financieros, la mayor accesibilidad económica para adquirir vivienda propia en la periferia metropolitana, entre las más importantes (PCPE SLP SGS, 2003).

El suelo para construcción en las áreas urbanizables localizadas en San Luis Potosí está sujeto a la especulación urbana, por lo que la presión se extiende sobre los terrenos colindantes de propiedad ejidal. Por una parte las tierras ejidales del municipio de Soledad de Graciano Sánchez que ocupan el 80.54% de su superficie, localizadas al este, sur y parte norte de la ciudad, representan la alternativa más económica para los desarrolladores de viviendas, al igual que los terrenos ejidales del municipio de San Pedro al este de la ciudad en colindancia con Soledad de Graciano Sánchez y los del municipio de Mexquitic de Carmona al noroeste en colindancia con San Luis Potosí (Figura 3.2). El crecimiento hacia la Sierra de Álvarez en el municipio de San Pedro, en cambio, está limitado por el Decreto de Zona de Protección Forestal y Refugio de Flora y Fauna Silvestre, por el abastecimiento de agua y el Proyecto Minero Cerro San Pedro de Minería San Xavier. Este proyecto que contempla la extracción de oro y plata a cielo abierto y su recuperación mediante proceso de lixiviado, se encuentra con un avance de obra del 20%. Aquí es necesario recordar que las posibilidades de encontrar agua para abastecer el

proyecto son nulas debido a la naturaleza calcárea de la Sierra de Álvarez que limita la filtración de agua, por lo que el volumen promedio de 31.2 l/s (984 000 m³/año) requerido por Minera San Xavier para su operación es adquirido de derechos de agua de uso agrícola ubicados en la planicie. La puesta en marcha de este proyecto puede ser un detonante del crecimiento en la zona de estudio ya que supone la contratación de un buen número de trabajadores foráneos.

La construcción del anillo periférico o anillo exterior permitió la rearticulación de los nodos o sectores urbanos por medio de una vía rápida y sirvió de enlace entre las carreteras regionales que confluyen en la zona metropolitana, evitando el paso por la ciudad del tránsito pesado de largo recorrido. Esta infraestructura constituye un importante elemento que fragmenta y delimita gran parte del área urbana (PCPE SLP.SGS, 2003). Los terrenos aledaños se revalorizan debido a la accesibilidad desde cualquier punto de la ciudad, y se impulsa el crecimiento más allá de sus límites, hacia las tierras de riego y de recarga de acuíferos (**Figura 3.2**).

Del análisis intraurbano surgen elementos tales como la existencia de terrenos habitacionales de bajo costo en tierras agrícolas ejidales y los desarrollos habitacional de alto ingreso sobre áreas de recarga, que promueven el crecimiento de la ciudad fuera de los límites del circuito periférico. Los cambios espaciales que experimenta la ciudad en su crecimiento muestra una evolución y acumulación de problemas típicos como son las fuentes de abastecimiento de agua y la eliminación de agua residual, estos elementos y otros tales como las vialidades regionales y la industria que pueden denominarse expansores comienzan a configurar tendencias propias de la dimensión regional de la ciudad (Delgado; 1993).

3.2. Expansores de la zona metropolitana

3.2.1. Vialidades regionales

Las vialidades regionales jugaron un papel fundamental en la expansión de la ciudad desde su fundación. San Luis Potosí, por su importancia como centro minero formó parte de la ruta hacia el norte que abrió la frontera de la minería, misma que dos siglos después

servió de traza del ferrocarril. Debido a los talleres instalados en la capital del Estado y en Cárdenas, San Luis Potosí fue considerado como uno de los núcleos ferroviarios más importantes en el país. Cuenta con 1 150 km de vías férrea que surcan el territorio potosino en dos líneas principales: La línea San Luis Potosí–Aguascalientes, recorre la porción suroeste desde el municipio de Salinas hasta la capital potosina, continuando al este con el nombre de Línea San Luis Potosí-Tampico, pasando por el municipio de Soledad de Graciano Sánchez; la Línea México–Laredo, la más importante, atraviesa el estado de sur a norte comunicando a los municipios de Villa de Reyes, San Luis Potosí, Moctezuma, Venado, Charcas, Catorce y Vanegas.

De igual manera que la red ferroviaria, dos de los principales ejes carreteros que confluyen en los municipios metropolitanos la vinculan con el norte del país y la frontera sur de Estados Unidos de América, la costa del Golfo, la ciudad de México y en general con el centro del país, incluyendo la autopista Lagos de Moreno; a lo que se agregan carreteras interestatales y caminos intermunicipales que cubren el estado y la Zona Metropolitana de San Luis Potosí.

Esta infraestructura si bien fragmenta la Zona Metropolitana, cumple una importante función como vías de acceso rápidas, otorgando ventajas para la localización de áreas habitacionales y el desplazamiento de personas en la periferia cercana. Al mismo tiempo, la industria más tecnificada y los servicios especializados tienden a seguir un criterio de localización sobre los principales ejes carreteros y en especial sobre el eje trasnacional.

3.2.2. Descentralización de la industria y los servicios

La capital del estado muestra desde las últimas décadas un perfil industrial que representa el 80.5% de la Producto Bruto Total (PBT) municipal. Las ramas más dinámicas y desarrolladas de la industria ligadas al mercado de exportación, se localizan en los parques industriales de la zona metropolitana ubicados sobre el corredor trasnacional México-Piedras Negras. La estabilidad de este sector impulsó el desarrollo del comercio y los servicios, que hoy muestran un buen grado de consolidación.

Las actuales tendencias de desconcentración de las industrias de alta tecnología, aprovechando las ventajas del eje del TLC (carretera N° 57) que conecta la ciudad de México con ciudades del sur de Estados Unidos de América, encuentra ciertas ventajas en el corredor Santa María del Río-San Luis Potosí-Matehuala y en el corredor San Luis Potosí-Charcas-Matehuala. Estas ventajas pretenden ser impulsadas como una estrategia para reforzar el sistema urbano estatal, hasta ahora marcado por una fuerte polarización social y económica en la Zona Metropolitana de San Luis Potosí (PDUSLP, 2000). Matehuala ocupa el tercer lugar, después de Ciudad Valles en la Región Huasteca, en concentración de población y de actividades económicas del estado, con más de 60 000 habitantes, 315 establecimientos industriales, 1 684 comercios y más de 1 800 unidades de servicios. Los lineamientos de la política de promoción para la industria manufacturera incluye el impulso de las ramas de alimentos, tabaco y bebidas, textil, calzado y vestido, y productos metálicos, ya establecidos en el lugar, con la dotación de infraestructura y servicios entre otras acciones. Asimismo, la ciudad de Santa María del Río y Charcas concentran 67 y 47 establecimientos industriales respectivamente, de los sectores textil, vestido y calzado, y productos metálicos. La evolución de la Población Económicamente Activa (PEA) por sector en las localidades que integran estos corredores, a excepción de la Zona Metropolitana de San Luis Potosí, permite observar el fortalecimiento de las actividades secundarias y terciarias (Tabla 3.3). En el período 70-80 se observa una drástica caída de la PEA en todos los sectores, posiblemente debido a la migración de los trabajadores hacia otros centros productivos como la Zona Metropolitana de San Luis Potosí. En el año 1990 se recuperan las actividades secundarias y terciarias, pero no el sector primario.

Tabla 3.3. Evolución de la PEA por sector

Localidad	1970			1980			1990		
	Primario	Secundario	Terciario	Primario	Secundario	Terciario	Primario	Secundario	Terciario
Matehuala	2 794	9 590	14 198	759	2 798	4 510	709	5 107	8 628
Santa María del Río	1 989	1 233	1 397	324	476	458	191	893	1 187
Charcas	1 248	5 036	3 598	226	792	961	186	1 152	1 216

Fuente: PDUSLP (2000)

3.2.3. *Abastecimiento de agua y drenaje*

El abastecimiento de agua en cantidad y calidad necesaria es un problema público de larga duración que ha permanecido en la vida cotidiana de los habitantes de la Zona Metropolitana de San Luis Potosí, y que se ha vuelto crítico con el incremento de la población, la expansión urbana desordenada, la inversión pública insuficiente, la falta de comunicación y cooperación entre los organismos responsables, la ausencia de una cultura de uso racional del agua y la separación entre el conocimiento científico y las acciones públicas (Santos, 2004).

Si bien la evolución del abastecimiento de agua como servicio básico de la infraestructura metropolitana permitió la expansión de la ciudad, está lejos de ser un problema resuelto de manera definitiva, y por el contrario se ha vuelto cada vez más crítico. Desde 1995 las acciones más recurrentes fueron: el racionamiento del agua por medio del tandeo, consistente en la suspensión del servicio en determinadas horas o días de la semana principalmente en época de estiaje; el suministro del servicio de agua mediante pipas, con régimen gratuito y en ciertos casos abonado por los propios usuarios; la perforación de nuevos pozos y la rehabilitación de pozos fuera de funcionamiento; el mantenimiento de la Presa San José que en 1998 había reducido su capacidad de almacenamiento en casi el 50% (de 7.3 Mm³ a 5.1 Mm³) debido al azolve; la construcción de plantas de tratamiento de agua residual para el reuso, como una acción prioritaria desde el punto de vista de abastecimiento y saneamiento; la reglamentación del uso del agua y la planificación de acciones de corto, mediano y largo plazo; el mantenimiento y ampliación de la infraestructura de red de abastecimiento de agua y drenaje (Santos, 2004).

En el año 2000, la profunda crisis en el servicio de abastecimiento llevó a plantear la necesidad de un trabajo conjunto de las instituciones para asegurar una solución a mediano y largo plazo. Con ello se esperaba asegurar el abastecimiento para la futura dimensión metropolitana. El Sol de San Luis Potosí, publica el 26 de mayo del 2000 las expresiones del sector empresarial a través de la Cámara Nacional de Comercio (CONACO) donde advierten que “en unos años se agravará más el problema de abasto de agua, no sólo para el consumo humano sino también para las actividades productivas...” “el agua es un activo valiosísimo cuya carencia puede frenar el crecimiento”.

En general, gran parte de las ciudades intermedias en expansión muestran esta problemática; conforme aumenta la población y las actividades económicas las fronteras para el abastecimiento de agua se amplían progresivamente y rebasan sus propios límites. El agua asequible en un determinado territorio tiene sus límites físicos y de calidad, por lo que la importación de agua de fuentes cada vez más lejanas puede convertirse en la decisión más adecuada desde el punto de vista técnico, ya que en general las dificultades son resueltas, pero económica, social y ambientalmente puede resultar inviable.

A causa de la extracción intensiva en la cuenca de San Luis Potosí, se declaró por decretos presidenciales de los años 1961, 1962 y 1985 la prohibición de la extracción en los acuíferos de San Luis Potosí y Villa de Reyes, excepto la destinada para fines domésticos y abrevadero. La ausencia de fuentes cercanas de agua limitó la importación de otras cuencas, por lo que a partir de la veda impuesta algunos usuarios adoptaron modos "ingeniosos" para cubrir sus requerimientos, mientras que otros aún conviven con limitaciones de abastecimiento de agua.

El acuífero profundo en la cuenca de San Luis Potosí es captado a través de 370 pozos (Tabla 3.4, Figura 3.3), según censo realizado en el período 1995-1996. Si bien los datos han variado en casi una década, el principal uso continúa siendo el público urbano, seguido por el uso agrícola, el industrial y el de servicio. La condición de acuífero "sobreexplotado", según la CNA, que impide nuevas perforaciones en la cuenca es un hecho relativo; el aumento en el número de pozos desde la imposición de la veda es notorio. Uno de los mecanismos que impulsó los nuevos aprovechamientos consiste en la reposición de los obsoletos o los que salieron de servicio, que en general corresponden a pozos de uso público urbano.

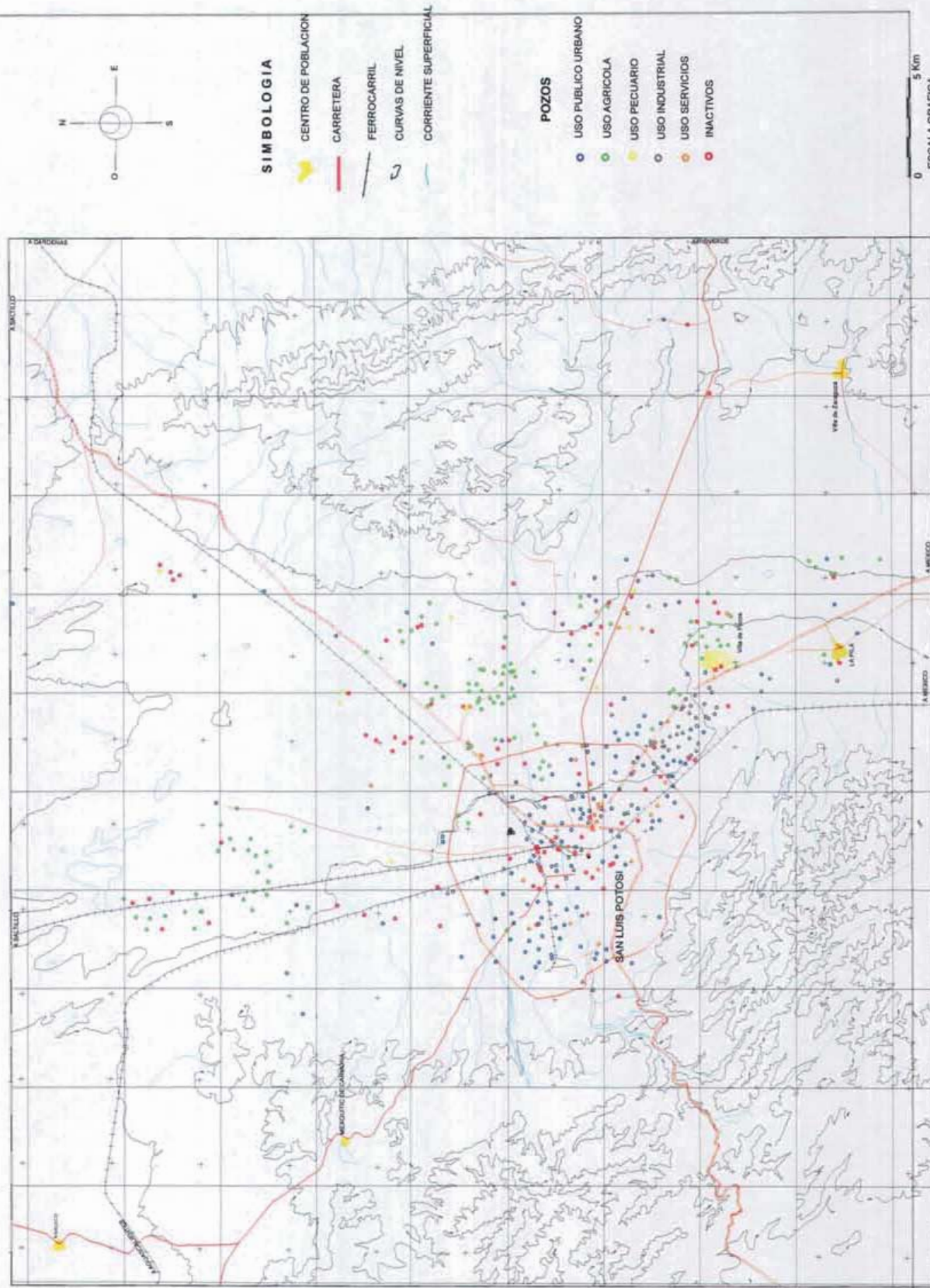
Tabla 3.4. Usos de agua subterránea en la Cuenca de San Luis Potosí

Usos	Acuífero somero		Acuífero profundo		Totales		
	Nº Aprov	Vol Ext. (Mm ³ /año)	Nº Aprov	Vol Ext. (Mm ³ /año)	Nº Aprov	Vol Ext. (Mm ³ /año)	%
<i>Público Urbano</i>	4	0.03	153	84.39	157	84.42	67.2
<i>Agrícola</i>	158	3.64	122	20.45	280	24.09	19.18
<i>Industrial</i>	5	0.09	49	9.65	54	9.75	7.76
<i>Agroindustrial</i>	3	0.16	1	0.03	4	0.18	0.10
<i>Servicios</i>	30	0.45	30	5.20	60	5.65	4.49
<i>Pecuario</i>	22	0.25	12	0.66	34	0.91	0.7
<i>Dom. abrevadero</i>	51	0.16	0	0	51	0.16	0.1
<i>Múltiples</i>	7	0.17	3	0.23	10	0.41	0.3
<i>No especificado</i>	2	0.006	0	0	0	0.006	0
Subtotales	282	4.97	370	120.61	650	125.58	100

Tomado de CNA (2002b)

Las necesidades crecientes de los sectores industrial y de servicio impulsados por los cambios económicos estructurales, encontraron solución en aquellos sectores económicos descapitalizados de las últimas décadas, preferentemente el agrícola. El mecanismo de transferencia de derechos permitió la reasignación de usos de agua entre estos sectores. Este mecanismo tiene su base jurídica en el Constituyente de 1917, Artículo 27, que establece que la nación como propietaria del recurso transmite el dominio a los particulares que constituyen la propiedad privada, a través de concesiones otorgadas quedando implícito el dominio del estado. La Ley de Aguas Nacionales de 1972 limitó los derechos de propiedad a través del impedimento de transferencia de derechos, la prohibición del empleo de los excedentes para otras actividades o para su venta. En 1993, la Ley de Aguas Nacionales manteniendo los principios constitucionales de que el uso o aprovechamiento de aguas nacionales debe hacerse sólo a través de concesión, incorporó el Registro Público de Derechos de Agua donde se inscriben los títulos y permisos de concesión y asignación, así como las operaciones de transferencia, expidiendo los correspondientes certificados. Con base en ello se establece el mercado de agua vía la transferencia de títulos de concesión, limitando las operaciones dentro de una cuenca o a un solo acuífero.

Figura 3.3. Ubicación de pozos profundos y clasificación por usos
Acuífero del Valle de San Luis Potosí



Este marco propició conductas oportunistas por parte de varios actores que incluyen el acaparamiento de derechos de agua para su posterior renta o venta. La reasignación de los usos del agua por medio de la transferencia de derechos entre sectores, consiste en modalidades de renta de la dotación a un costo estimado de 35 mil pesos por 1 Mm³/año (dependiendo de las condiciones), o de venta total o parcial de la dotación siendo el costo promedio en el mercado actual de 2 500 000 pesos por 1 Mm³/año. El principal sector ofertante lo constituye el agrícola y en general se trata de productores que han dejado de trabajar sus campos, tienen deudas con los bancos o desean abandonar la actividad, o son agricultores que cuentan con pequeñas huertas o que trabajan en el sector industrial y que no cuentan con infraestructura moderna.

Los volúmenes son adquiridos por las industrias, empresas de servicio o por las constructoras de fraccionamientos, estas últimas compran los derechos para dotar a las nuevas viviendas y luego lo traspasan al organismo operador del servicio INTERAPAS. Los volúmenes transferidos, que en general corresponden al sector agrícola, están localizados en sitios donde el agua es fría y de buena calidad; los compradores lo captan con nuevas perforaciones ubicadas en lugares donde el agua es termal y con alto contenido de fluoruro. De esta manera, el agua de la zona metropolitana ha disminuido su calidad en los últimos años debido al reemplazo de aprovechamientos de buena calidad por otros de mala calidad (Carrillo-Rivera *et al.*, 2002).

La implementación de este mecanismo cubrió las necesidades de los sectores que hoy contribuyen con importantes ingresos a la zona metropolitana. Como resultado del cambio de uso de suelo y de uso del agua, la economía urbana se opuso a la economía rural, resultando importantes cambios en la periferia que pueden observarse en la evolución de la población económicamente activa de las localidades cercanas, dentro de la periferia regional de la ciudad (Tabla 3.5). Como efecto de la conurbación la economía local agrícola se reduce y tiende a desaparecer, surgen nuevas actividades relacionadas con la industria y los servicios. La influencia de la zona metropolitana asimismo modifica las economías de las localidades próximas en la cuenca de San Luis Potosí; la cercanía permite el desplazamiento diario hacia los lugares de trabajo en la ciudad utilizando

transportes formales o informales, incentivando la desaparición de la economía primaria local.

Tabla 3.5. Evolución de la PEA en Zona Metropolitana y localidades próximas

Localidad	1970			1980			1990		
	primario	secundario	terciario	primario	secundario	terciario	primario	secundario	terciario
San Luis Potosí	9 202	76 373	127 672	1 893	27 544	49 721	1 997	53 850	96 009
La Pila (San Luis Potosí)	1 227	341	173	170	218	72	102	463	106
Escalerillas (San Luis Potosí)	nd	nd	nd	80	284	131	12	471	306
Soledad de Graciano Sánchez	2 733	2 915	3 416	730	4 018	5 085	1 221	13 806	19 964
Cerro de San Pedro	7	88	37	1	29	1	2	21	6
Armadillo de los Infante	357	74	48	52	31	28	22	20	37
Mexquitic de Carmona	304	20	122	77	21	60	24	21	110
Villa de Zaragoza	1 065	2 581	366	203	650	253	84	860	455
Subtotales	14 895	82 392	131 833	3 206	32 795	55 351	3 464	69 512	116 993

Fuente: PDUSLP, (2000).

La situación actual de las fuentes de abastecimiento de la cuenca, según evaluaciones de los organismos oficiales, han llegado a su límite de extracción, por lo que la atención se centra en fuentes situadas en lugares lejanos, lo que lleva implícito mayores costos para su obtención. Ante las constantes crisis de abastecimiento y para asegurar la expansión económica y social de la zona metropolitana de San Luis Potosí, surge el proyecto PROMMA/MASAS formulado en cooperación con CNA/OMM/Banco Mundial el cual incluye diferentes propuestas anteriores, bajo un esquema tendiente al manejo integrado del agua. Aquí se incorpora la importación de fuentes desde la cuenca Jaral de Berrios-Villa de Reyes mediante dos mecanismos: la transferencia de caudal del río Santa María con la construcción de una presa, y la reasignación del agua por medio de la transferencia de títulos de concesión desde el sector agrícola de Villa de Reyes. Esta cuenca comparte su acuífero con los estados de Guanajuato al noreste en Jaral de Berrios, y San Luis Potosí al suroeste en Villa de Reyes, pertenece a la Región Hidrológica N° 26 Pánuco avenida por los escurrimientos que conforman el río Santa María. Tiene un uso intensivo en la agricultura, ganadería e industria, principalmente la Termoeléctrica de Villa de Reyes

y la destintadora de papel, por lo que está en vigencia la veda para la perforación de nuevos pozos.

Este proyecto contempla una inversión total de aproximadamente 1 900 millones de pesos en acciones a corto, mediano y largo plazo para el período 2005 al 2009. En una primera etapa se pretende aumentar la eficiencia de la captación, conducción y tratamiento del agua superficial de la cuenca por medio de la rehabilitación de antiguas infraestructuras hidráulicas, esto incluye la Presa San José de 300 l/s, la Presa San Antonio de 50 l/s, la ampliación de la capacidad de la planta potabilizadora a 350 l/s y la mejora en el sistema de distribución. Paralelamente, se contempla el inicio de la construcción de la Presa El Realito con una capacidad de 1 000 l/s sobre el río Santa María, al sureste de la zona metropolitana en el estado de Guanajuato.

La etapa posterior incluye la terminación de la Presa El Realito, la construcción del sistema de conducción El Realito-San Luis Potosí y la compra de un caudal de 1 000 l/s al sector agrícola de Villa de Reyes. El componente de transferencia incluye la reconversión de la agricultura en Villa de Reyes para mantener y fortalecer el sector, y aumentar la eficiencia productiva del agua implementando el sistema de cultivo bajo invernadero, siguiendo la experiencia de la provincia española de Almería.

Es reconocido que el efecto de las ciudades en expansión sobrepasan los límites propiamente urbanos y se internan en la periferia inmediata y más allá de ella, afectando las zonas rurales y localidades próximas. Estos espacios se convierten en receptores de agua residual de la ciudad, con impactos notables en las actividades económicas y en la salud. En el caso de San Luis Potosí la descarga en la zona rural adyacente incentivó el riego de cultivos con agua residual sin tratamiento debido al aumento de la productividad (al menos en las primeras etapas), muchos agricultores abandonaron sus pozos de riego y transfirieron sus derechos de agua. El aumento del volumen de agua residual y de la carga de contaminantes que afecta al agua, suelo y aire, elevaron los niveles de enfermedades transmisibles y exponen la salud de la población a condiciones críticas.

El saneamiento de la zona metropolitana encarado desde la década pasada, incluyó el proyecto Tenorio–Villa de Reyes para el tratamiento de 910 l/s que actualmente se descargan en una superficie de 209 hectáreas denominada Tanque Tenorio dentro del municipio de San Luis Potosí (CNA; 2002a.). La importancia de este proyecto radica en el reuso industrial de 450 l/s que incluye el mecanismo de transferencia con la Comisión Federal de Electricidad que opera la Central Termoeléctrica de Villa de Reyes. El agua, tratada a nivel secundario avanzado (proceso físico-químico y biológico), será entregada (vía venta) para el enfriamiento de las torres de la termoeléctrica por medio de una línea de conducción siguiendo la carretera; a cambio la CFE transferirá a la ciudad los derechos de agua que actualmente utiliza para ese fin . Este proyecto presenta un avance del 60%, pero encuentra resistencia en los habitantes de Villa de Reyes y en la misma CFE para ceder los derechos de uso de agua a pesar del compromiso asumido. El caudal restante, tratado a nivel primario avanzado (proceso físico-químico), será destinado al riego de predios ejidales en los municipios de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez.

4. Agua subterránea y urbanización: evolución espacial y temporal de los procesos y sus efectos en la cuenca

4.1. Abastecimiento de agua y disposición de agua residual en las etapas de urbanización

El agua subterránea es un recurso vital para el suministro económico y seguro de agua potable en el medio urbano y rural. Los relativos bajos costos de obtención y la posibilidad de un desarrollo en etapas, conforme aumenta la necesidad, resultan ventajosos en las inversiones para el abastecimiento público y privado. Éstas y la ventaja de su calidad relativamente más estable en relación con el agua superficial, han permitido un notable incremento de los aprovechamientos a partir de la segunda mitad del siglo pasado. Este proceso ha sido muy notable en las ciudades que se desarrollan en regiones áridas donde el elemento común es frecuentemente la ausencia de agua superficial, siendo el agua subterránea la fuente invariable de abastecimiento.

La tecnología asequible junto con la existencia de acuíferos productivos permitió que la economía creciera a nivel aceptable en muchas ciudades ubicadas en zonas áridas, con beneficios evidentes para la población y el fomento de importantes centros de influencia regional. El acelerado crecimiento de la población urbana y los procesos de industrialización de las últimas décadas en los países en desarrollo, tienen un efecto profundo en este recurso que está vinculado a los procesos de uso del suelo, de abastecimiento de agua y disposición de efluentes y residuos sólidos. En general, en las ciudades que se desarrollan con rapidez el crecimiento de la población antecede a la infraestructura de drenaje y de abastecimiento de agua; como consecuencia, el subsuelo se convierte en el receptor de los efluentes domésticos e industriales, a la vez que el abastecimiento de agua se complica a causa de su uso intensivo y la gestión inadecuada (Foster *et al.*, 2001).

Cuando la carga de contaminantes no es controlada y excede la capacidad natural de atenuación del subsuelo, los acuíferos experimentan una amenaza de contaminación cada vez mayor. Los efectos se manifiestan en tiempos relativamente cortos en acuíferos situados a poca profundidad a diferencia de aquellos situados a profundidades mayores, y

están relacionados con el abastecimiento y sus costos, los riesgos a la salud y al ambiente.

Si bien esto es una situación común en muchas ciudades que se desarrollan sobre acuíferos productivos, los grados de afectación y las circunstancias pueden variar localmente. Los problemas derivados del uso intensivo y la contaminación por actividades económicas y humanas, se pueden agravar por la presencia de acuíferos fracturados o de componentes disueltos peligrosos como el arsénico y el fluoruro que requieren consideraciones especiales de análisis y de gestión.

A medida que las ciudades evolucionan, las modalidades de abastecimiento de agua y disposición de agua residual van cambiando. En las primeras etapas de desarrollo, las necesidades de agua de San Luis Potosí fueron atendidas con los recursos asequibles con base en la tecnología y el conocimiento de la época. El recurso se obtenía del aprovechamientos de cursos de agua y manantiales. Las obras construidas eran principalmente para captación y conducción a los lugares de beneficio de mineral, a las zonas de riego agrícola y a las fuentes públicas que abastecían a la población.

En general en las regiones áridas, la mayoría de las fuentes de agua superficial se desarrollan localmente y su caudal está supeditado a los períodos de lluvia, por lo que no permiten sostener el crecimiento de la población y la economía. El relleno sedimentario de la cuenca de San Luis Potosí y el conocimiento de la época permitieron explorar el subsuelo en busca de nuevas fuentes de agua. La presencia de agua subterránea a poca profundidad resultó un factor clave en la evolución de la ciudad, que junto con las ventajas de posición geográfica e infraestructura vial, la potenciaron como centro económico regional. La combinación de los aprovechamientos superficiales y subterráneos permitieron abastecer a la incipiente industria urbana, a la población y a las actividades rurales durante más de dos siglos. Años más tarde, los efectos del cambio en la calidad del agua subterránea a causa de la descarga de aguas residuales domésticas e industriales comenzaron a evidenciarse en la salud de la población.

La necesidad de fuentes de abastecimiento más seguras, la ausencia de fuentes de agua superficial cercanas a la ciudad y la tecnología asequible permitieron explorar el subsuelo profundo. El aprovechamiento del acuífero profundo permitió el desarrollo de las actividades industriales y de servicio que impulsaron el crecimiento urbano. Actualmente el agua subterránea profunda es la principal fuente, abasteciendo el 96% del volumen total extraído para todos los usos; en tanto los aprovechamientos del acuífero somero fueron abandonados progresivamente a causa de los niveles de contaminación, los bajos caudales y la instalación de la red de agua potable. En la actualidad se encuentran en funcionamiento algo más de 280 norias que proveen el 4% del volumen total extraído, este caudal se destina en su mayoría al uso agrícola.

4.1.1. Primera etapa: Aprovechamiento conjunto de recursos superficiales y subterráneo somero

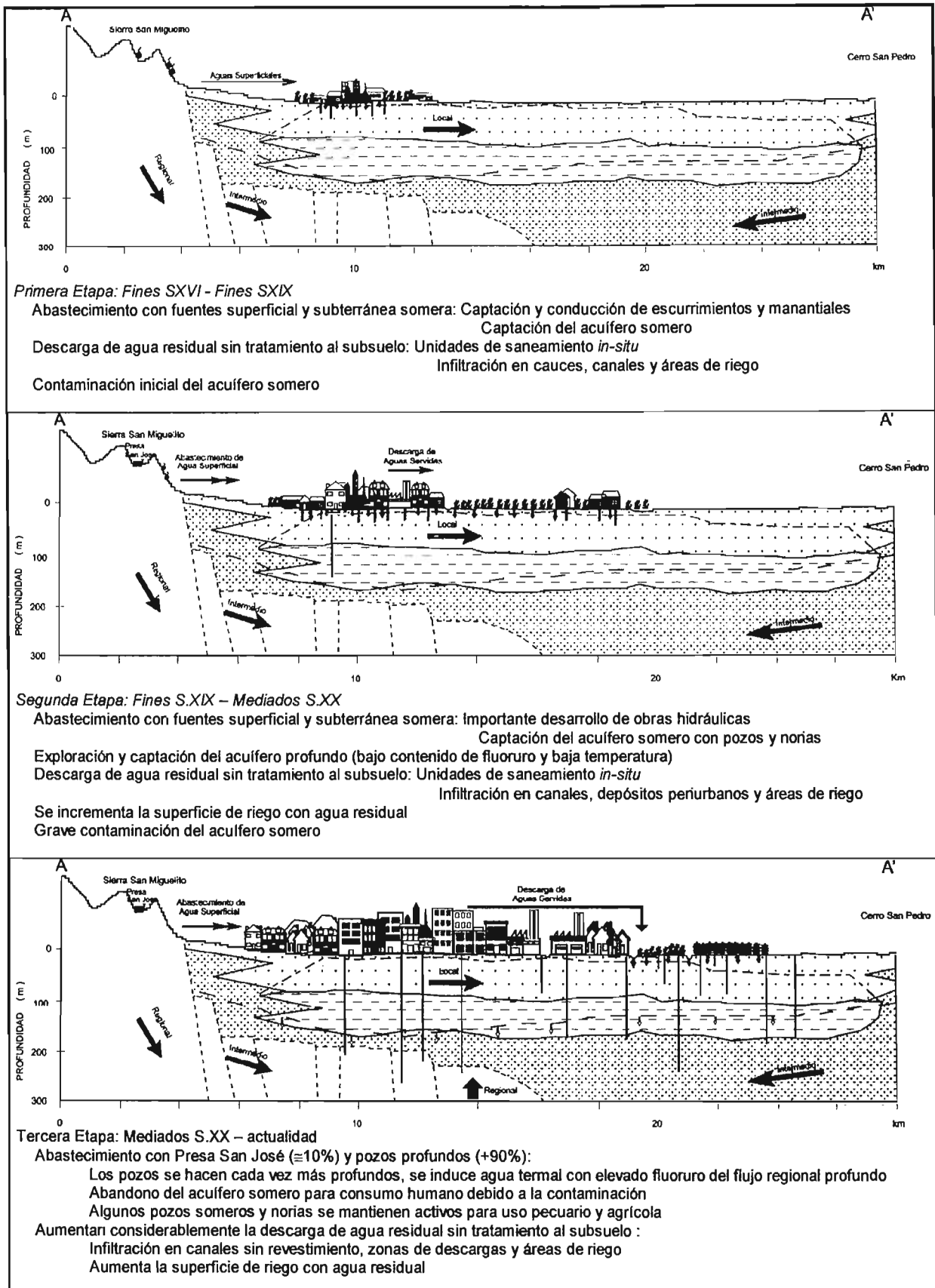
Durante la etapa inicial del asentamiento, el agua necesaria para las actividades productivas y la población se obtenía de los escurrimientos superficiales de la sierra occidental que llegaban hasta plaza del Carmen y se depositaban en “la lagunita”, se complementaban con obras de captación y conducción de los manantiales de piedemonte (Figura 4.1). Los recursos hídricos superficiales localizados al norte y oeste de la ciudad estaban restringidos a la época de lluvia, de ellos el mayor era el río Santiago que cruzaba por el norte hasta perderse a aproximadamente 38 km (Márquez, 1986). Unos pocos escurrimientos temporales eran aprovechados en las haciendas para el riego de cultivos, el resto se consumía en el riego de huertas. Una medición de la precipitación caída en el año 1847 reporta un valor de 470 mm (Márquez, 1986). Cuando estos caudales resultaron insuficientes, el material geológico del área permitió cavar y construir norias que proveyeron de agua subterránea en cantidad suficiente y calidad deseada (Figura 4.1). En la mayor parte de las viviendas se construyeron pozos y se reforzó el abastecimiento por medio de dos fuentes públicas. De éstas destaca el depósito conocido como la “Caja de Agua” construido en 1832 al final del acueducto que venía de la Cañada del Lobos. En la zona rural la escorrentía de las precipitaciones se captaba con la construcción de bordos y pequeñas presas. Esta forma de aprovechamiento se mantuvo desde fines del siglo XVI hasta la primera mitad del siglo XX. En 1890 debido a la crisis en el abastecimiento, el gobierno concedió su manejo a privados y encargó la construcción de la presa San José

que nunca llegó a terminarse. Ante el fracaso de la gestión privada, el gobierno retomó la construcción de la obra que fue concluida en 1903.

En esta etapa, las condiciones locales del subsuelo desempeñaron un papel crucial tanto en el abastecimiento de agua como en la disposición del agua residual doméstica e industrial (beneficio de metales, textil, y otros). La característica de cuenca cerrada impedía la salida natural del agua residual; la disposición se efectuaba en el suelo a través de unidades de saneamiento *in-situ* o por descargas directas o indirectas en cauces y canales (Figura 4.1). Los sedimentos permeables que rellenan la cuenca permitieron la rápida eliminación a través de la filtración. El agua residual que escurría por cauces superficiales y canales desde la ciudad, comenzaron a ser aprovechados para el riego de cultivos desarrollados en la periferia. Esta sería una práctica que se mantendría hasta la actualidad.

La evolución de la ciudad también significó la modificación de los cursos de agua superficiales provenientes de las sierras circundantes que provocaban graves daños a la población y a las construcciones durante la época de lluvias. A fines de 1680 se construyó un canal fuera de los límites de la ciudad para evitar los efectos desastrosos de las inundaciones que provocaba el río Santiago, pero a los pocos años quedó absorbido por el crecimiento urbano. Este canal sirvió además para desalojar el agua residual fuera de la ciudad.

Figura 4.1. Evolución del abastecimiento y descarga en las etapas de urbanización



Adaptado de Foster *et al* 2001- Elaborado con base al Modelo hidrogeológico de la cuenca

4.1.2. Segunda Etapa: Necesidad creciente, desarrollo de obras de infraestructura y exploración del subsuelo profundo

Pasada la primera etapa, la construcción del ferrocarril y la inversión de capitales en la industria y el comercio afianzaron el desarrollo de San Luis Potosí como centro regional e impulsaron el crecimiento de la población urbana. El desarrollo de la agricultura y de la ganadería concentrado en las haciendas, demandó la construcción de obras que aseguran el abastecimiento de agua necesario para sostener la producción y los empleos. En esta etapa destacan importantes inversiones en obras hidráulicas para el apoyo al campo; se construyeron norias, pozos, canales de riego, presas, abrevaderos, acueductos. En 1903 se inauguró la Presa San José y posteriormente la Presa El Peaje que regularon el río Santiago y aseguraron el abastecimiento de agua a las empresas agrícolas que se desarrollaban en la capital del estado.

La construcción de obras hidráulicas permitió disponer de los recursos hídricos superficiales de la zona (**Figura 4.1**). Los caudales varían a lo largo del tiempo en función de las aportaciones pluviométricas; el río Santiago y los arroyos de poca importancia sólo acarrearán agua en determinadas épocas del año y las obras de almacenamiento en los alrededores de la ciudad, en la mayoría de los casos no llegaban a sufragar las necesidades agrícolas y domésticas. Adicionalmente, la captación de agua subterránea del acuífero somero por medio de la excavación de norias y pozos poco profundos, aunque con caudales escasos (3 a 4 l/s), suplió las necesidades de la población y las actividades económicas hasta finales de este período (**Figura 4.1**). El grado de desarrollo económico y social alcanzado por la ciudad de San Luis Potosí demandó la búsqueda de nuevas fuentes más confiables de abastecimiento. La tecnología asequible permitió en la década de 1940, explorar acuíferos más profundos. Comenzaron a realizarse exploraciones utilizando la tecnología de la industria petrolera. Los primeros pozos profundos en la planicie de San Luis Potosí perforados desde el año 1951, alcanzaron los 150 metros con una profundidad al nivel del agua de 80 a 100 metros, produciendo caudales razonables de 30-40 l/s (**Figura 4.1**).

El escaso conocimiento del comportamiento del acuífero profundo y la falta de planificación en las nuevas perforaciones produjeron rápidamente impactos negativos de importancia. En general, las perforaciones se disponían alrededor de los sitios donde se encontraba un pozo productor, separadas por una distancia de 100 a 300 m. La operación de los pozos en una zona tan reducida comenzó a producir importantes abatimientos locales del nivel potenciométrico que afectaron la producción de los pozos y el costo de extracción. Apenas en la segunda mitad de 1960 se reglamentó los 500 m como distancia mínima entre pozos de extracción (IG-UNAM, 1999).

A finales de los años cincuenta, la población urbana de 160 000 habitantes se distribuía en 1 250 hectáreas; hasta entonces gran parte de la ciudad mantenía la disposición de agua residual en el lugar mediante pozos negros y letrinas. A mediados de esta etapa se construye el primer sistema de agua y drenaje; los efluentes eran colectados por cauces naturales y canales no revestidos, y escurrían hasta acumularse aguas abajo en las depresiones de la periferia (**Figura 4.1**).

Parte del uso de suelo periurbano de las ciudades con rápido crecimiento está destinada a ser receptor de los efluentes domésticos e industriales generados en la ciudad. El municipio de Soledad de Graciano Sánchez, que para el año 1950 contaba con 14 650 habitantes, estaba dedicado al cultivo de huertas y alfalfa principalmente. En el lugar descargaban los excedentes de las presas de San Luis Potosí que bajaban del río Santiago y los canales de agua residual, que fueron reutilizados para el riego de cultivos distribuidos en un área de 1 500 hectáreas en los municipios de Soledad y San Luis Potosí (IIZD UASLP, 1961).

4.1.3. Tercera etapa: Desarrollo del agua subterránea profunda

En 1960 al iniciar esta etapa, la ciudad contaba con una población de 175 000 habitantes y las localidades ubicadas en los alrededores aún estaban separadas. El abastecimiento de agua a la ciudad provenía de las presas de San José, y de pozos que captaban el acuífero somero y el acuífero profundo que en conjunto permitían una dotación de 153 l/hab/día; en tanto la mayor parte de las industrias se abastecían de 18 pozos construidos y operados por las mismas empresas que arrojaban un caudal total de 200 l/s (Stretta y del Arenal;

1960). Debido a los bajos rendimientos del acuífero somero (3-4 l/s) y al nivel de contaminación por infiltración de agua residual y de lixiviados provenientes de residuos sólidos, se recomendó abastecer los futuros requerimientos de agua con el acuífero profundo (Stretta y del Arenal; 1960).

En 1970 el área urbana ocupaba 4 400 hectáreas y se iniciaba el proceso de conurbación con Soledad de Graciano Sánchez; las crecientes necesidades de la población y la industria se cubrieron con la perforación de nuevos pozos profundos. Los pozos someros y norias fueron abandonados progresivamente como fuente para consumo humano. El último censo de aprovechamientos realizado en el período 1995-1996 contabilizó 413 norias, y otras tantas no fueron registradas debido a que su extracción era poco significativa. Se ubican preferentemente en el municipio de Soledad de Graciano Sánchez; y del total registrado sólo siguen en funcionamiento 282 destinadas a uso pecuario y agrícola (CNA, 2002b). El caudal superficial de 200 a 300 l/s aportado por la Presa San José representa el 10% del abastecimiento actual y en épocas de sequía su aporte se reduce considerablemente. El acuífero profundo se convirtió en los últimos años, en la principal fuente de abastecimiento (Figura 4.1). Más del 90% del consumo de agua doméstico, comercial y municipal de la zona conurbada de San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez y Cerro San Pedro se hace a través de 112 pozos que captan el acuífero profundo entre los 200 y 350 metros de profundidad, y que en total aportan un caudal de 2 600 l/s ($\cong 82 \text{ Mm}^3/\text{año}$) (Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Fuentes de abastecimiento de la Ciudad de SLP 1912-1998

Usos doméstico, comercial y municipal

Año	Núm.de pozos profundos	Caudal l/s	Extracción en presas l/s	Población
1689	0	0	0	2 000
1803	0	0	0	12 000
1828	0	0	0	19 000
1855	0	0	0	33 580
1877	0	0	0	34 000
1900	0	0	0	61 019
1912	0	0	30	70 000
1921	0	0	nd	57 353
1930	0	0	nd	74 003
1940	0	0	nd	77 161
1951	2	40	150	125 662
1959	13	202	180	159 980
1964	20	457	240	185 000
1973	25	490	300	275 000
1976	35	1 090	300	330 000
1980	45	1 247	240	362 371
1987	51	1 355	240	nd
1993	76	1 697	240	nd
2000a	82	2 049	210	629 208
2000b	112	2 600	210	852 717

Fuentes:

Año 1689-1900: Villa (1988), Archivo histórico de localidades INEGI.

Año 1912-1976: SARH, Archivo histórico de localidades INEGI

Año 1980; Junta Municipal de Agua Potable, INEGI.

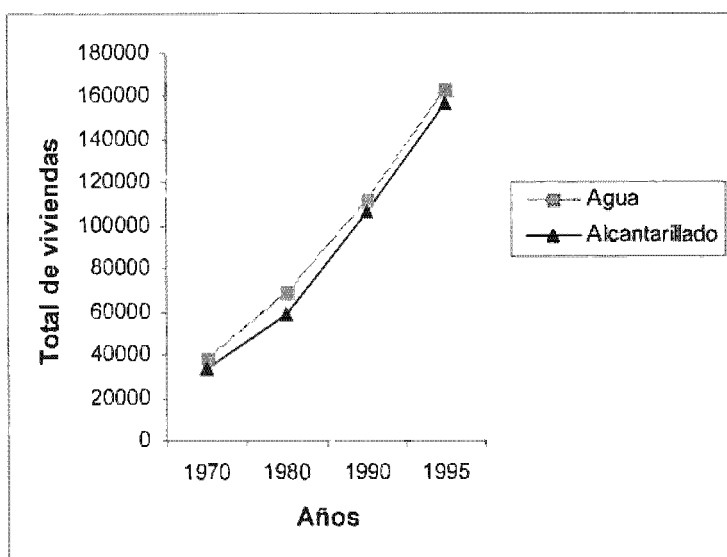
Año 1987; Dirección General de Agua Potable

Año 1993; SIAPAS, Población estimada

Año 2000: CNA, INEGI. (2000^a) ciudad de SLP, (2000^b) Municipios conurbados SLP, SGS, S.Pedro

Paralelo al crecimiento de la ciudad, la dotación de infraestructura pública como una política nacional de impulso a las ciudades medias benefició directamente la calidad de vida de la población y la inversión para la producción. En el año 1970 el 83% de las viviendas contaba con servicio de agua y el 74% con drenaje; para el año 1995 la red de distribución de agua aumentó su cobertura al 97% y la red de alcantarillado al 93% del total de las viviendas en los municipios conurbados de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez (Figura 4.2). La importancia de la instalación de la red de alcantarillado obedece a varios factores, la imposibilidad de acceder al mantenimiento de pozos sépticos debido a la densificación en la construcción, la disminución en la capacidad de infiltración del suelo y principalmente el alto nivel de contaminación del acuífero somero que afecta la salubridad de la población.

**Figura 4.2. Vivienda según disponibilidad de agua entubada y alcantarillado, 1970-1995
Municipios de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez**



Fuentes: Censo General de Población 1970,
Censo General de Población y Vivienda 1980, 1990,
Conteo de Población y Vivienda 1995

Nota:

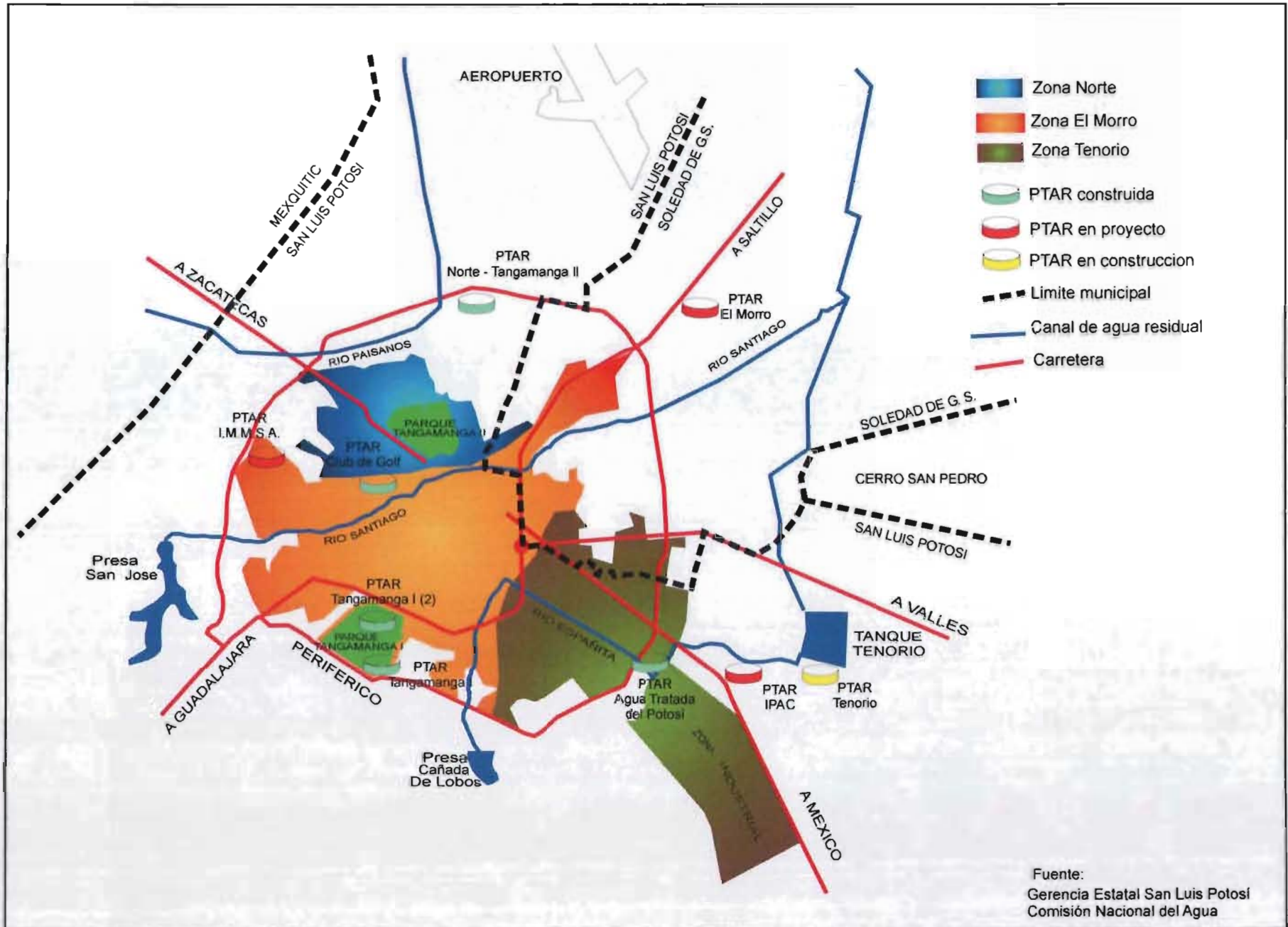
Entiéndase por "Disponibilidad de agua entubada": Accesibilidad de los ocupantes de la vivienda al uso de agua entubada, de acuerdo con ello, las viviendas se clasifican en: dispone de agua entubada dentro de la vivienda y dispone de agua entubada fuera de la vivienda pero dentro del terreno.

Entiéndase por "Disponibilidad de drenaje o alcantarillado": de acuerdo con la disponibilidad de drenaje, la vivienda se clasifica considerando si dispone de drenaje, bien sea que éste se conecte a una barranca o grieta, una fosa séptica, la red pública, un río o lago e incluso al mar o bien si no dispone de drenaje.

Glosario, Anexo B, Síntesis metodológica del XII censo general de población y vivienda 2000; INEGI.

Junto al crecimiento de la población urbana, la instalación de la red de alcantarillado aumentó la descarga de agua en la periferia urbana (Figura 4.1). El agua residual del sistema de alcantarillado de la zona conurbada de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez llega a 18 diferentes sitios y de allí descarga en un sistema de canales en su mayoría a cielo abierto y excavados en tierra, que atraviesan la zona urbana y su periferia (CNA; 2000a). El caudal para el año 2000 estimado en 1 970 l/s se distribuye aguas abajo a tres zonas receptoras; Norte y las principales Morro y Tenorio (Figura 4.3). Parte de este caudal es utilizado sin tratamiento para el riego de 2 652 hectáreas de cultivos en terrenos ejidales y de propiedad privada ubicados preferentemente en el municipio de Soledad de Graciano Sánchez, con base en derechos otorgados y "de hecho".

Figura 4.3. Zonas de descarga de aguas residuales y plantas de tratamiento



Fuente:
Gerencia Estatal San Luis Potosí
Comisión Nacional del Agua

4.2. Procesos y efectos de la urbanización y su evolución

El aumento de la población conlleva en cualquier lugar, una presión sobre los recursos que le sirven de sostén. La dependencia de los seres humanos con el ambiente que lo rodea y su capacidad para modificarlo en beneficio de las necesidades de desarrollo y bienestar, comprende a una serie de efectos relacionados con el deterioro de los recursos, de la calidad de vida y los riesgos a la salud. En esto el elemento temporal y espacial adquiere gran importancia, y en las áreas urbanas se refleja con el crecimiento de la población y el aumento concomitante de las necesidades de agua y de los desechos generados.

Los problemas en general evolucionan en tiempos prolongados y se hacen más visibles con el paso de los años, esto es en mayor medida consecuencia de la gran capacidad de almacenamiento y el bajo ritmo de respuesta de la mayoría de los sistemas de agua subterránea. La estabilidad de los flujos de agua subterránea depende mayormente de la profundidad, en acuíferos libres o próximos a la superficie los cambios en respuesta a las variaciones que se producen en la superficie son relativamente rápidos, a diferencia de lo que sucede en los acuíferos profundos o confinados (Tóth, 2000).

El crecimiento acelerado de las ciudades en las últimas décadas generaron procesos y efectos cuyos límites van más allá de los límites geográficos de la propia ciudad. Estos generalmente se relacionan con las necesidades de la creciente población; a medida que los recursos asequibles se hacen más escasos (por cantidad o calidad), las fronteras para su obtención se amplían. El agua necesaria para abastecer a las ciudades se importan de lugares cada vez más lejanos en perjuicio de los intereses de otros usuarios.

Los efectos más notables en áreas urbanas de países en desarrollo están relacionados con la extracción intensiva de agua subterránea y la descarga de contaminantes, y se manifiestan en descenso de niveles freáticos, cambio en la calidad del agua, exposición a sustancias peligrosas, entre otros. Si bien los avances tecnológicos han permitido ampliar las fronteras de los recursos, la incapacidad de la población para proteger las fuentes hídricas y realizar inversiones en el tratamiento de agua residual ponen de manifiesto los

niveles de enfermedades transmisibles relacionadas con el agua. Existen interesantes propuestas tendientes a atenuar los impactos negativos, pero estas no siempre son posibles financiera y socialmente. Las divergencias entre la necesidad de obtener beneficios inmediatos y la conservación a largo plazo, es uno de los factores que más ha influido en el deterioro de los recursos en los países en desarrollo.

4.2.1. Contaminación por disposición de agua residual

4.2.1.1. Contaminación del acuífero somero

Cuando las ciudades se desarrollan sobre acuíferos poco profundos, uno de los principales efectos de la urbanización es la contaminación por infiltración de agua residual. La descarga de agua residual de la zona urbana se hace a través de canales que colectan el sistema de alcantarillado. Sin tratamiento previo se disponen en zonas receptoras, siendo las más importantes Tenorio y El Morro ubicadas al este de la ciudad, en los municipios de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez respectivamente (**Figura 4.3**). Parte del volumen es utilizado en el riego de cultivos preferentemente alfalfa y maíz, y en menor escala avena, cebada, frijol, nopal, sorgo, hortalizas y otros. La superficie regada actual, estimada en 2 652 has. corresponde a terrenos ejidales y de propiedad privada ubicados preferentemente en el municipio de Soledad de Graciano Sánchez.

Los primeros antecedentes de calidad del agua potable en pozos públicos de la ciudad corresponden a Palacios (1890,1906) quien analiza parámetros del agua relacionados con la contaminación superficial por materia orgánica, la falta de medidas preventivas y los efectos en la salud pública. Stretta y del Arenal (1960) en un estudio para el abastecimiento de agua potable para la ciudad reafirma la contaminación del acuífero somero. En 1961, la investigación realizada por el Instituto de Investigaciones de Zonas Desérticas de la UASLP en el Municipio de Soledad de Graciano Sánchez, revela áreas con alta concentración de sodio, calcio y magnesio que se desplazan según el gradiente hidráulico de oeste a este. La alta concentración de estos elementos varía de un lugar a otro, de igual manera que en los ejidos de Pozos y La Pila situados al sur de la ciudad de San Luis Potosí. Se determina una conductividad de 1 220 μmhos en el agua residual y se detectan pozos con conductividades entre 1 140 y 2 481 μmhos . Las pruebas bacteriológicas efectuadas en estos pozos, en general ubicados a pocos metros de los

canales de efluentes utilizados para riego, evidencian una contaminación con microorganismos patógenos. Los resultados muestran una cuenta de colonias desarrolladas en gelatina de 1 900 y hasta 11 000 por cm^3 , en tanto las colonias desarrolladas en gelosa fueron entre 800 y 11 000 por cm^3 ; las determinaciones de nitrógeno amoniacal resultaron positivas con 0.03 ppm y 0.12 mg/l. Las zonas contaminadas se sitúan en las áreas más pobladas donde existen pozos que captan el acuífero somero para uso agrícola, ganadero y doméstico a profundidades que varían entre 8 y 10 m en el poblado de Soledad, hasta 42 y 55 m más al noreste. Villalobos y Díaz de León (1965) detectan sustancias tóxicas e infecciosas, como la alta concentración de nitratos; IDEDECSA en 1985 revela en el acuífero somero altas concentraciones de nitratos, coliformes y boro cuyo origen lo atribuye a la infiltración de agua residual (Cardona, 1990). Carrillo y Armienta (1989) detectan alta concentración de nitratos, cloruros, bicarbonatos y hierro, coliformes totales y fecales que consistentemente lo han demostrado autores como Vargas (1994) entre otros.

En 1995 el Instituto de Ingeniería de la UNAM realiza el aforo y caracterización de las descargas residuales de la zona conurbana, en el marco del proyecto de "Saneamiento Integral de la Zona Conurbada de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez" (CNA, 2002a). De las muestras de agua obtenidas en 16 canales de descarga se analizaron parámetros físico-químicos, bacteriológicos y de metales pesados. Los resultados muestran que 14 canales poseen características propias del agua residual doméstica, en tanto las descargas de los canales industrias I y II muestran altos índices de contaminación. A partir de estos datos se obtuvieron valores medios de calidad de agua que determinaron las características de los influentes a las plantas de tratamiento proyectadas para el saneamiento del área (Tabla 4.2).

4.2.1.2. Impacto al acuífero profundo

En condiciones naturales, previas al uso de agua subterránea, el agua que satura el acuífero somero escurre hacia el acuífero profundo a través de la lente de material fino que lo delimita inferiormente y por los extremos de ésta (Carrillo-Rivera, 1992). Las determinaciones del caudal que escurre a través de la lente fueron efectuados por aproximación hidráulica y validada químicamente con modelación hidrogeoquímica

inversa. Las estimaciones con base en la presencia de altos contenidos de cloruros en el agua de mezcla extraída de los pozos, indican un 8% en volumen de agua proveniente del acuífero somero (IG UNAM, 1999). En tanto el caudal aportado desde los extremos de la lente, en un perímetro de 57 000 m, se estimó en 40l/s con base en la Ley de Darcy (IG UNAM, 1999).

Un nuevo conducto para la contaminación se abre con los pozos profundos. Estos pozos con nivel del agua a más de 50 m de profundidad están contruidos con ademe ranurado desde los 60-80 m, esto y la presencia de filtro de grava a todo lo largo del espacio anular del pozo permiten la entrada de agua contaminada del acuífero somero al profundo. Actualmente muchos de ellos se encuentran fuera de operación y han sido sellados, pero en algunos casos en forma deficiente. En 1975, a través de la prensa se denuncia la contaminación del pozo profundo del Mercado República a causa del mal sellado. Meses después de la reparación el agua recobró su calidad (Gallegos, 2002). La CNA (2000b) advierte sobre la alta vulnerabilidad del acuífero profundo a la contaminación a través de pozos abandonados o mal contruidos, en especial los ubicados en la zona industrial.

La determinación en el agua profunda de metales pesados e indicadores de contaminación fecal ha dado resultados negativos (Gallegos, 1982,1985; Cardona *et al*, 1993; Carrillo y Armienta, 1989), sugiriendo que la calidad química y bacteriológicas del agua profunda no ha sido afectada por la contaminación del acuífero somero.

4.2.1.3. Filtraciones en la red de abastecimiento

Otra vía por la que la contaminación del acuífero somero llega a la población, la constituye las roturas de la red de agua potable. Una evaluación de la calidad del agua de abastecimiento detectó contaminación fecal en 30% de las tomas domésticas analizadas en la ciudad de San Luis Potosí y en 61.4% de las tomas evaluadas en Soledad de Graciano Sánchez. La presencia de contaminantes se relaciona con la filtración de agua contaminada en la red de distribución de agua potable que coincide principalmente con la zona más antigua de la ciudad. Como resultado de esta investigación, se inicio una campaña de cloración después de lo cual se observó una disminución de las cuentas bacterianas por debajo de la norma en algunos puntos de mayor contaminación (Gallegos, 2002).

Tabla 4.2 Valores medios de calidad del agua residual para plantas de tratamiento proyectadas
Obtenidas a partir de muestras de 16 canales de descarga

PARÁMETROS	NORTE	MORRO	TANGAMANGA I	TANGAMANGA II	INDUSTRIA	TENORIO (1)	TENORIO (2)
pH	7,00	7,08	7,00	7,20	4,40	6,82	7,02
Alcalinidad Total (mg/l)	295	302	300	256	478	314	300
Dureza Total (mg/l)	93	118	108	72	900	160	99
Conductividad (uS/cm)	698	798	632	710	4637	1032	738
DQO Total (mg/l)	572	469	637	418	1416	520	453
DQO Soluble (mg/l)	216	169	183	187	1059	224	161
DBO5 Total (mg/l)	246	184	217	173	660	239	206
DBO5 Soluble (mg/l)	140	101	105	89	505	145	117
STT (mg/l)	825	790	829	632	3265	970	784
STV (mg/l)	389	307	349	248	1197	370	304
STF (mg/l)	438	483	479	384	2068	600	480
SST (mg/l)	231	169	220	157	278	173	164
SSV (mg/l)	176	133	169	124	199	128	123
SSF (mg/l)	55	36	51	33	79	45	42
SDT (mg/l)	594	621	609	476	2987	798	620
SDV (mg/l)	213	173	180	124	995	241	180
SDF (mg/l)	381	448	429	352	1992	557	440
Silice Total (mg/l)	95	85	82	81	105	87	86
Silice Soluble (mg/l)	82	74	71	72	98	80	78
N-amoniaco (mg/l)	31	26	28	27	23	29	29
N-orgánico (mg/l)	29	20	22	19	24	20	20
Fosfatos Totales (mg/l)	28	23	25	23	18	23	24
S.A.A.M. (mg/l)	19	16	18	17	5	14	14
Grasas y Aceites (mg/l)	80	55	75	61	44	60	62
Fenoles (micro g/l)					8	67	69
Cloruros (mg/l)					119	38	32
Sulfatos (mg/l)					1035	155	82
Fluoruros (mg/l)					2,81	1,45	1,35
Cianuro (micro g/l)					153,27	18,26	7,06
Cobre (micro g/l)					263	43	26
Cromo Total (micro g/l)					402	54	27
Mercurio (micro g/l)					1,23	0,58	0,54
Plomo (micro g/l)					248	81	68
Sodio (micro g/l)					371	109	88
Calcio (mg/l)					199	28	14
Magnesio (mg/l)					4,38	1,75	1,55
GASTO MEDIO (l/seg)	252	450	140	80	66	865	808

Tomada de CNA (2002a)

4.2.1.4 Efectos a la salud

La dinámica del desarrollo socioeconómico y las tendencias de concentración de la población en las ciudades, ha provocado importantes cambios en el ambiente que ponen en riesgo la salud de sus habitantes. La incapacidad de gestión para proteger los recursos hídricos y realizar inversiones en el tratamiento del agua residual ponen de manifiesto los altos niveles de enfermedades trasmisibles relacionadas con el agua, tales como el cólera, la esquistosomiasis y la diarrea de lactantes causantes de la mitad de las defunciones ocurridas en la primera infancia en algunos países. La prevalencia desconocida de enfermedades crónicas y debilitantes se atribuye a la presencia de productos tóxicos y agentes patógenos en el agua de bebida y alimentos provenientes de fuentes contaminadas (OPS y OMS, 1995).

La ausencia de agua potable y de saneamiento son la causa del 80% de las enfermedades en los países en desarrollo, el suministro adecuado de estos servicios reducirían en un 50% la mortalidad infantil y prevendría en un 25% las diarreas. En México las enfermedades infecciosas intestinales son una de las causas principales de morbi-mortalidad. En la ciudad de San Luis Potosí las infecciones gastrointestinales, disentería amibiana y bacilar, parasitosis intestinal, fiebre tifoidea y paratifoidea, se ubican entre el 2º y el 6º lugar respectivamente dentro de las 10 principales causas de morbilidad, a lo que se suma la presencia del bacilo del cólera (SSA, 1982).

La disposición inadecuada del agua residual sin tratamiento, representa un medio de exposición a agentes contaminantes químicos y biológicos. Los sitios receptores se convierten en potencialmente peligrosos para la población debido a la calidad del agua descargada junto a su reutilización para el riego agrícola, que provoca la contaminación en suelo, agua y alimentos. Los estudios en la zona de descarga del municipio de Soledad de Graciano Sánchez, se centran en la evaluación de parámetros fisicoquímicos, coliformes totales y determinación de metales pesados en muestras de agua, sin considerar la exposición integral a agentes infecciosos en agua y suelo (Flores, 1996). Datos estadísticos de este municipio revelan que las infecciones intestinales se encuentran entre las 10 principales causas de morbilidad, la amibiasis se presenta en 3º lugar, la oxiuriasis

en 4º lugar, la ascariasis en 6º lugar y la giardiasis en 8º lugar; la principal causa corresponde a las infecciones respiratorias agudas y la 2º a otras infecciones intestinales no definidas (Flores, 1996). Entre las causas de mortalidad en 1992, las enfermedades infecciosas intestinales ocuparon el 7º lugar. Una investigación realizada en 1985 por la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí revela la presencia de microorganismos (*Cryptosporidium*) en el 40% de la población estudiada compuesta por niños de 2 a 7 años; este porcentaje corresponde al más alto para individuos sanos o enfermos reportado en la literatura hasta ese momento. Un estudio realizado por IDEDECSA en 1985 expone que las enfermedades del aparato digestivo relacionadas con la ingestión de agua contaminada proveniente del acuífero somero serían la causa del 5% de las muertes (Cardona, 1990).

Los efectos de la contaminación microbiológica en la población no siempre se exponen en forma clara ya que pueden presentar manifestaciones subclínicas difíciles de determinar. Flores (1996) realiza una evaluación del riesgo en la salud por exposición a agentes microbiológicos, teniendo en cuenta las condiciones de exposición ambiental. Para ello efectúa un muestro ambiental en agua y suelo, y biológico (parasitológico y bacteriológico) en niños aparentemente sanos de entre 1 a 14 años que viven en zonas densamente pobladas y con circulación diaria de agua residual en el municipio de Soledad de Graciano Sánchez. Los resultados obtenidos en esta investigación mostraron la existencia de microorganismos (bacterias, protozoarios y helmintos) en heces fecales, suelo y agua. La bacteria *Salmonella* se presentó en el 71% de la población, entre ellas la especie *Salmonella typhi* asociada con la fiebre tifoidea y otras especies de *Salmonella* no tifoidea relacionada con síntomas de diarrea, con moco y sangre en heces y dolor abdominal. Entre los protozoarios manifestados destaca la presencia de *Entamoeba histolytica* en el 63% y de *Giardia lamblia*, causante de la giardiasis, en el 89.4% de la población, siendo los máximos valores reportados en países subdesarrollados de 50% y de 5 veces menor respectivamente. La presencia de estos parásitos se asocia con la diarrea infantil y dolor abdominal. El *Cryptosporidium* es reportado en personas con deficiencia inmunológica y se la asocia con la pérdida de peso como resultado de la mala absorción, la presencia en la población estudiada fue del 23.4%. La existencia de *Ch. Mesnili* y *Cyclospora* fue baja y se encuentra en individuos con deficiencia inmunológica con síntomas de anorexia,

vómitos y náuseas. Los helmintos reportados en las muestras de heces fecales corresponden a *Ascaris lumbricoides* en un 57.4% de los individuos, los cuales presentaban diarrea y dolor abdominal asociada con esta infección, asimismo se detectó *H. Nana* en el 23.40%. La *Samonella* fue detectada en el 100% de las muestras de agua residual y suelo, lo que indica que el contagio es por agua residual, fecalismo al ras del suelo y consumo de alimentos contaminados. El *Ascaris lumbricoides* se encontró en el 100% de las muestras de suelo y en menor proporción en el agua residual; la *Entamoeba histolytica* en el 83% de las muestras de suelo y el 100% de las muestras de agua residual y la *Giardia lamblia* en el 66% de las muestras de suelo y en el 100% del agua residual. Se indica como ruta de exposición el suelo contaminado por agua residual o fecalismo. El municipio de Soledad de Graciano Sánchez es considerado como zona de alto riesgo debido a la contaminación biológica, el riesgo a la salud está representado por la prevalencia de la bacteria *Salmonella* principalmente (Flores, 1996).

4.2.2. Consecuencias de la extracción intensiva y construcción deficiente de pozos

4.2.2.1. Descenso del nivel de agua subterránea

El desarrollo intensivo del agua subterránea puede ocasionar algunos efectos negativos, la mayor parte se refieren al descenso del nivel del agua y a lo que se interpreta como agotamiento del almacenamiento del agua subterránea. Si bien estos efectos llegan a ser importantes en muchas ciudades del mundo, a menudo no están relacionados o sólo lo están débilmente con la extracción intensiva. La carencia de datos fiables (en cantidad y calidad) y de análisis serios llevan a predicciones poco reales de las situaciones actuales o a futuro (Llamas y Custodio, 2002). Si la extracción es limitada, al cesar el bombeo el nivel del agua se estabiliza a uno de equilibrio; cuando la extracción es intensiva y concentrada el nivel de equilibrio alcanzado se hace cada vez más profundo. En cualquier caso, la medición del nivel estático del agua requiere de pozos de observación o pozos de abastecimiento donde se cese el bombeo para permitir la recuperación del nivel de equilibrio, lo que normalmente no ocurre al momento de tomar los datos. El descenso de niveles por la extracción intensiva reduce el rendimiento de los pozos, aumenta los costos debido a la profundización en busca de mayores rendimientos e incluso se pierden prematuramente las inversiones por el abandono de los pozos (Foster *et. al*; 2001).

En la zona de estudio, en las primeras etapas de construcción de pozos profundos, la falta de conocimiento de los efectos de la extracción en áreas reducidas provocó descensos del nivel del orden de los 2 a 3 m/año. Un ejemplo extremo de la disposición de las perforaciones en esta época se encuentran en la localidad de Villa de Reyes, al sur de San Luis Potosí, donde se perforaron nueve pozos en un terreno de 50 m por 75 m extrayendo un caudal aproximado de $1\text{ m}^3/\text{s}$ (IG UNAM, 1999). En la década de 1960 se reconoció la importancia de una distancia mínima entre pozos debido a que la concentración de la extracción incrementa el descenso del nivel del agua, aumentando los costos de extracción y reduciendo la eficiencia de operación de los pozos. A mediados de la década, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) estableció como distancia mínima entre pozos los 500 m.

Sobre la base de estos resultados, a partir de 1961 se declaró la veda en parte de la cuenca de San Luis Potosí; en otro decreto de 1962 se vedó la porción complementaria cubriendo prácticamente toda el área, y en 1985 se completó la totalidad del municipio. Las acciones impuestas por la veda restringieron el alumbramiento de agua del subsuelo para cualquier uso, excepto para fines domésticos y abrevadero (CNA, 2002b). A pesar de la veda impuesta, se continuó perforando nuevos pozos ya que en la cuenca de San Luis Potosí no existen fuentes de agua superficial importantes en un radio de al menos 100 km (Carrillo-Rivera, 1992).

El incremento en la extracción para abastecimiento de la industria, la agricultura y la población de San Luis Potosí en las décadas de 1970-1980 y su efecto negativo en el descenso del nivel incrementaron la investigación del acuífero profundo. Gran parte de la investigación se orientó a analizar la respuesta a la extracción y a determinar cuantitativamente el volumen disponible por medio del balance hídrico. IG UNAM (1999) y Cardona (1990) analizan estos antecedentes en los cuales se detectan valores de descensos del nivel que varían de 0.5 a 1.0 m/año para el decenio 1970-1980, y de 1.65 a 1.80 y 2.60 m/año hasta el año 1984, atribuidos en todos los casos a una extracción que excede a la recarga, en valores asimismo muy variables.

La red de monitoreo instalada en la zona metropolitana incluye 74 pozos profundos de abastecimiento. Uno de los errores más comunes al medir el nivel del agua es que por tratarse de pozos de abastecimiento, el tiempo necesario para que este recupere su nivel desde que se deja de bombear es muy corto, por lo que el valor obtenido no corresponde al nivel estático real. El tiempo de recuperación dependerá principalmente del tiempo de bombeo y de las propiedades del material geológico. Con los datos obtenidos por los organismo oficiales para el período 1995-1998 (los más completos en información) se calcula un abatimiento del nivel estático entre 0.5 a 4 m/año (Figura 4.1). El nivel varía con base en la localización y extracción en los pozos observados; en el sector norte o zona Peñasco se registran descensos de 0.75 a 1.25 m/año donde se localizan pozos para uso agrícola con períodos de bombeo más cortos. El sector que registra mayores descensos corresponde al suroeste de la ciudad con abatimientos entre 3 y 4 m/año, en tanto la zona del parque industrial y Villa de Pozos registra abatimientos entre 1 y 2 m/año (CNA, 2002b).

4.2.2.2. Inducción de agua natural con fluoruro

En la descripción geológica de la zona de estudio se hizo referencia a la composición y distribución de las rocas volcánicas terciarias presentes. Su origen a partir de la fusión parcial de la corteza y el rápido enfriamiento posterior a la extrusión, originaron rocas con el 80% de matriz vítrea (Cardona, 1990). El agua del flujo regional profundo circula por las fracturas de las rocas volcánicas e interacciona con su matriz vítrea incorporando el fluoruro disuelto en concentraciones que sobrepasan el valor de 1.5 mg/l, establecido como límite máximo permisible en la Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 (Cardona, 1990; Carrillo-Rivera, 1992).

La relación positiva entre la temperatura del agua del flujo regional y el contenido de fluoruro comienza a ser estudiada por el Igf UNAM (1988), y Carrillo y Armienta (1989). Éstos concluyen que las altas concentraciones de fluoruro (hasta 3.65 mg/l) presentes en un importante número de pozos coinciden con la distribución de la zona termal al sureste de la ciudad, siendo la fuente natural las rocas riolíticas (Riolita San Miguelito) del vulcanismo Terciario. Cardona (1990) en su trabajo concuerda con esta interpretación y determina que la profundidad del pozo no está relacionada con la temperatura del agua

extraída, tal como se esperaba de acuerdo con las características heterogéneas del acuífero profundo (fracturado y granular). Asimismo aclara que la temperatura del agua, los caudales de extracción y los rendimientos son mayores en los pozos perforados preferentemente en la roca fracturada, respecto del material granular.

El trabajo efectuado por Gallegos (2002) trata nuevamente esta relación con base en los datos de la Tabla 4.3. En éste se establece que la profundidad de los pozos no influye en la temperatura del agua captada, por lo que no existe correspondencia entre mayor profundidad, mayor temperatura y mayor concentración de fluoruro. En tanto si existe una relación positiva de la temperatura del agua con el contenido de fluoruro (Figura 4.4). La calidad del agua extraída y su temperatura están en función del material geológico que atraviesa el pozo y del recorrido del agua bombeada por éste. Anteriormente se hizo referencia a que las rocas volcánicas fracturadas (Riolita San Miguelito) es la fuente natural de fluoruro. La distribución irregular a profundidad de esta roca permite que la parte ranurada del ademe del pozo la atravesase totalmente, parcialmente o no la atravesase; de esto dependerá las concentraciones de fluoruro por encima o por debajo de la NOM-127 y consecuentemente la temperatura del agua obtenida (Carrillo-Rivera *et al.* 2002).

La cuenca de San Luis Potosí, con una población de 850 000 concentrados en la zona metropolitana, se abastece de agua potable proveniente en un 92% de pozos y un 8% de la Presa San José. El censo de aprovechamientos realizado por CNA para el periodo 1995-1996 registra 453 pozos que captan el acuífero profundo, de los cuales 370 se encuentran activos y 83 inactivos. De los 370 pozos activos se extraen 120.609 Mm³/año, 153 pozos están destinados a uso público-urbano de los cuales se extraen 84.389 Mm³/año, aproximadamente el 70% del total extraído del acuífero profundo. Es necesario aclarar que la diferencia en el número de aprovechamientos para uso público-urbano detectada entre los datos del censo y la información brindada por la misma fuente para el año 2000 de 153 y 112 pozos respectivamente, obedece a que el censo incluye los que se encuentran fuera de servicio y los que aportan un caudal muy bajo, en tanto la información del año 2000 tiene en cuenta sólo aquellos que efectivamente aportaban a la red en ese momento; en general la diferencia en numero de aprovechamientos no varía.

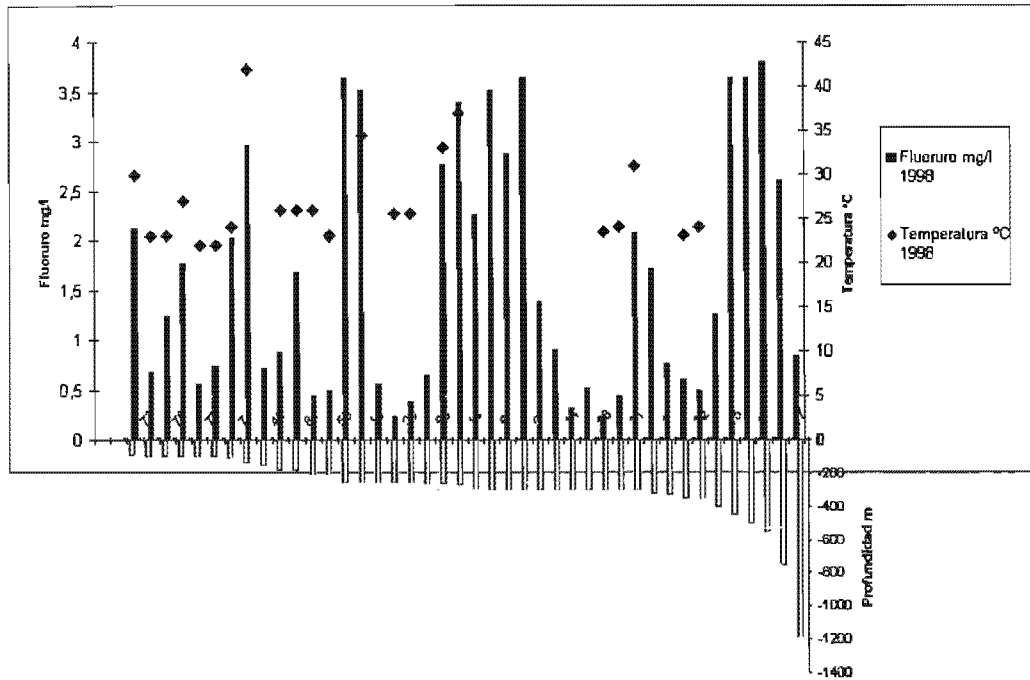
Tabla 4.3. Relación de concentración del fluoruro, temperatura del agua y profundidad de pozos.

Nº de pozo Clave Jasso 1998	Profundidad de Pozos CNA- 1995	Fluoruro mg/l 1998	Temperatura °C 1998
73	90	2,12	30
69	95	0,68	23
79	95	1,24	23
72	96	1,76	27
77	100	0,56	22
78	100	0,74	22
74	104	2,02	24
75	132	2,96	42
40	150	0,72	
52	180	0,88	26
81	180	1,68	26
55	200	0,44	26
33	200	0,5	23
10	250	3,64	
19	250	3,52	34,5
23	250	0,56	
29	250	0,24	25,5
70	250	0,38	25,5
53	260	0,64	
66	260	2,76	33
16	270	3,4	37

Nº de pozo Clave Jasso 1998	Profundidad de Pozos CNA-1995	Fluoruro mg/l 1998	Temperatura °C 1998
21	290	2,26	
5	300	3,52	
8	300	2,88	
9	300	3,64	
12	300	1,38	
14	300	0,9	
24	300	0,32	
26	300	0,52	
28	300	0,24	23,5
31	300	0,44	24
42	300	2,08	31
1	320	1,72	
18	325	0,76	
32	350	0,6	23
34	350	0,5	24
15	400	1,26	
11	450	3,64	
3	500	3,64	
2	550	3,8	
17	750	2,6	
22	1185	0,84	

Tomado de Gallegos (2002)

Figura 4.4. Relación fluoruro, temperatura y profundidad en pozos de la Zona Metropolitana



significativamente el caudal extraído. Estos datos reflejan la importancia del desarrollo del agua subterránea en la cuenca y zona metropolitana, que permitió obtener beneficios evidentes en la ciudad y la región. Sin embargo, las circunstancias locales (presencia de un acuífero fracturado que aporta componentes disueltos peligrosos) requieren de consideraciones especiales o inversiones adicionales.

La presencia de fluoruro en el agua de abastecimiento comienza a ser estudiada en 1965 por Villalobos, quien detecta concentraciones superiores al límite admisible para consumo humano, establecida en ese entonces en 1.3 mg/l. Durante la década de 1970 se construyen nuevos pozos, algunos de los cuales aportaron altos contenidos de fluoruro, y en la década de 1980 la expansión urbana e industrial coincidió con la zona termal al sureste de la ciudad. En general, las primeras perforaciones realizadas en la década de los 60 y 70 aportaban agua con bajo contenido de fluoruro, cuando estos pozos salieron de servicio a causa de la reducción de caudal, gasto excesivo de energía o falta de mantenimiento, fueron reemplazados progresivamente por otros que aportaron una

concentración más elevada de fluoruro y temperatura igualmente superior. La falta de estudios acerca del origen del fluoruro en el agua de abastecimiento y de sus efectos, fueron en contra de una estrategia de abastecimiento y de crecimiento urbano. A partir de los años 1980 se inician las investigaciones en este tema; IDEDECSA en 1985 detecta en el acuífero profundo concentraciones por encima de los niveles recomendables de fluoruro, plomo y cromo debido a procesos naturales. Posteriormente, Díaz de León (1988), De Lira y Nieto (1989) y Medellín *et al* (1989) reportan alta concentración de fluoruro en el agua del acuífero profundo y en la red de distribución. Los resultados señalan que el 39.7% de los pozos muestreados presentan alta concentración entre 3.1 y 4 mg/l y el 23% concentraciones entre 1 y 3 mg/l; sólo el 47.4% de los pozos de abastecimiento tenían concentración de fluoruro por debajo de la NOM-127 (De Lira y Nieto, 1989).

El muestro realizado por los Servicios de Salud de San Luis Potosí en el año 2003 a las 109 fuentes activas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano de los municipios de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez determinaron que el 65% (71) de las fuentes analizadas presentaban concentración de fluoruro superior al límite máximo permisible (1.5 mg/l) en la NOM-127-SSA1-1994. La concentración promedio fue de 2.36 mg/l y el máxima de 5.54 mg/l (UASLP y SSE, 2004).

4.2.2.3. Efectos subyacentes de la calidad de agua de abastecimiento

Los problemas de calidad del servicio público de agua potable, la necesidad de la población de medidas preventivas para su salubridad y la percepción del agua embotellada como más segura y de mejor calidad, abrieron camino a la proliferación de la industria del agua envasada. La norma oficial mexicana que rige la calidad del agua embotellada – NOM-041-SSA1-1993 - aprobada en 1993 y publicada en 1995, establece como límite máximo permisible 0.7 mg/l de fluoruro. En la zona metropolitana de SLP-SGS, se distribuyen alrededor de 15 marcas de agua embotellada en recipientes de 19 litros. Las empresas obtienen el agua de la red de distribución y las someten a procesos de purificación que incluyen la clarificación y desinfección antes de su distribución para consumo, un escaso porcentaje contaba hasta 1998 con métodos de eliminación de fluoruro, operando en muchos casos con baja eficiencia.

Los problemas de calidad de agua y la propagación de marcas de agua embotellada incentivó la intervención de las instituciones académicas en el muestro y análisis de las marcas que se purifican, se envasan y se consumen en la zona metropolitana. Gallego y Jasso (1995) estudiaron 12 marcas presentadas en envases de 19 litros, sólo 2 aplicaban procesos de remoción de fluoruro y se ajustaban a los límites establecidos en la norma, en las restantes el contenido de fluoruro era elevado, semejante a la fuente de la cual se abastecían. De la misma manera, el proceso de desinfección mostró deficiencia en 9 de las marcas estudiadas con unidades formadoras de colonias muy por encima del límite establecido en 100UFC/ml. Díaz-Barriga *et al.*, (1997b), reporta que la marca más popular de agua embotellada excedía el límite máximo permisible de concentración fluoruro (rango 0.84-1.01 mg/l). En 1998 la Facultad de Medicina de la UASLP inicia un monitoreo de la concentración de fluoruro en agua en las 21 embotelladoras registradas ante la Secretaría de Salud (Tabla 4.4). Los resultados muestran que el 71% de las marcas excedían la norma oficial mexicana 041, de éstas el 43% presentaba contenidos superiores a 3.0 mg/l; sólo el 29% de las marcas estaban dentro de los parámetros establecidos en la reglamentación.

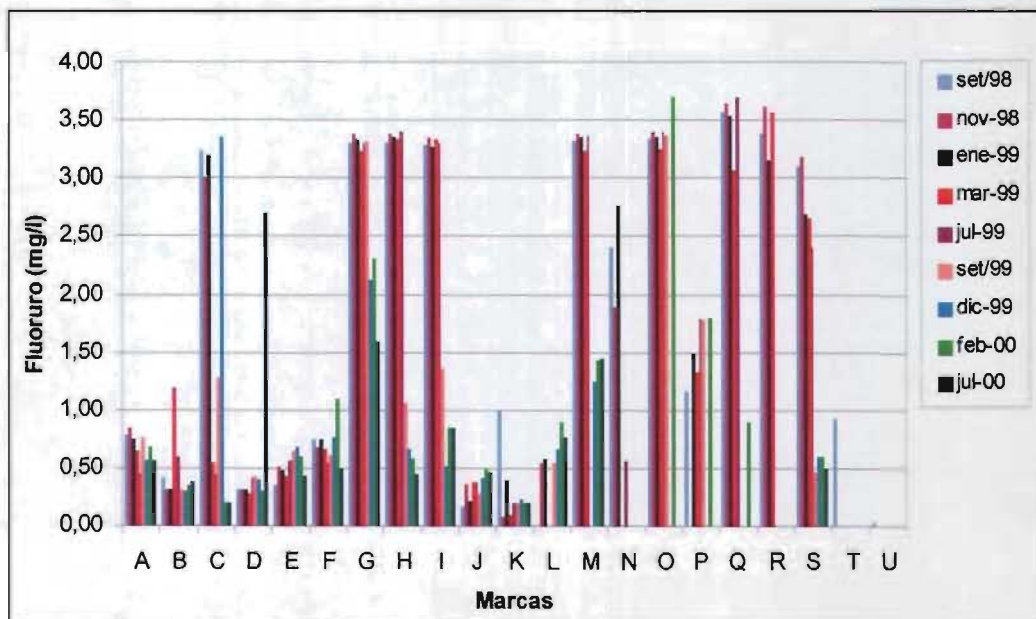
En ese mismo año, la intervención de la Secretaría de Salud de San Luis Potosí con un programa de inspección y muestreo permanente dio como resultado que el 75% de las empresas de agua embotellada no contaban con procesos de eliminación de fluoruro, que en la mayoría de las marcas sobrepasaba los 3.0 mg/l. El proceso de normalización incluyó la suspensión total o parcial de las actividades de las empresas, el emplazamiento para la adquisición de equipos de remoción de fluoruro y el mejoramiento de los procesos de llenado, el dictado de normas y reglamentos complementarios, procedimientos de muestreo y para la aplicación de las medidas de seguridad del agua purificada envasada y hielo purificado (Gallegos, 2002). Los resultados de la implementación de estas medidas se pueden observar en la Tabla 4.4 y Figura 4.5. La escasa capacidad financiera y de gestión empresarial, y el desconocimiento del producto y su tratamiento, se supone fueron las causas que favorecieron el cierre de 6 establecimientos, en tanto otros adaptaron sus procedimientos a la reglamentación vigente. Del total de 15 marcas en actividad al año

**Tabla 4.4 Concentración de fluoruro (mg/l) en agua de garrafón
Ciudad de San Luis Potosí – 1998-2000**

Marca	set/98	nov-98	Ene-99	mar-99	jul-99	set/99	dic-99	feb-00	jul-00
A	0,78	0,85	0,75	0,65	0,44	0,76	0,57	0,68	0,57
B	0,42	0,32	0,31	1,19	0,60	0,32	0,30	0,35	0,39
C	3,24	3,00	3,20	0,55	0,45	1,27	3,36	0,20	0,20
D	0,31	0,32	0,31	0,28	0,42	0,43	0,40	0,30	2,70
E	0,35	0,51	0,48	0,43	0,57	0,65	0,68	0,60	0,43
F	0,74	0,68	0,75	0,67	0,55	0,62	0,76	1,10	0,50
G	3,31	3,38	3,33	3,23	3,30	3,32	2,12	2,30	1,60
H	3,31	3,38	3,35	3,33	3,40	1,07	0,66	0,58	0,45
I	3,29	3,35	3,27	3,34	3,30	1,36	0,52	0,84	0,84
J	0,16	0,37	0,21	0,38	0,39	0,29	0,41	0,50	0,46
K	0,99	0,09	0,40	0,10	0,20	0,20	0,24	0,20	0,20
L		0,55	0,58			0,54	0,66	0,90	0,76
M	3,32	3,38	3,36	3,24	3,37		1,25	1,43	1,45
N	2,40	1,90	2,77		0,56			cerrada	cerrada
O	3,33	3,40	3,36	3,26	3,41	3,37		3,70	cerrada
P	1,17		1,49	1,33	1,80	1,77		1,80	cerrada
Q	3,57	3,65	3,54	3,07	3,70			0,90	cerrada
R	3,38	3,61	3,15	3,57				cerrada	cerrada
S	3,10	3,18	2,69	2,66	2,40	0,47	0,59	0,60	0,50
T	0,93							cerrada	cerrada
U	0,03								

Fuente: Díaz-Barriga, F y Ortiz, D.; Facultad de Medicina, UASLP

**Figura 4.5. Concentración de fluoruro (mg/l) en agua de garrafón – Evolución
Ciudad de San Luis Potosí – 1998-2000**



2000, el 33% continuaba excediendo el límite máximo admisible por la norma, si bien más de la mitad logró bajar el contenido de manera significativa. Esto es un importante avance si se considera que al año 1998 las marcas fuera de norma y reglamento representaban el 71% del total. Otro avance significó que del 77% de las empresas dentro de la norma para el año 2000, la mitad logró bajar el contenido de fluoruro en el agua en niveles importantes. El procedimiento más aceptado por las empresas para la eliminación del fluoruro fue el de osmosis inversa (69%), en tanto el 6% optó por la desmineralización y otro 6% por la alúmina activada, estos métodos operan con una eficiencia entre el 75-100%.

La población percibe al agua embotellada como de buena calidad y más limpia que el agua de grifo. En este sentido, debido al precio excesivamente alto comparado con el agua del grifo, las personas pueden llegar a gastar hasta 1000 veces más en agua embotellada que si la tomaran directamente del grifo (Ferrier, 2001). En San Luis Potosí el costo de un garrafón de agua purificada de 19 litros es de aproximadamente 18 pesos MN, cuando el m³ de agua de red cuesta 1.50 pesos MN en promedio, por lo tanto 1 m³ de agua de garrafón cuesta 947 pesos MN. De ello resulta que las personas gastan 631 veces más al consumir 1 m³ de agua envasada. Es preciso aclarar que esta relación es con base a agua purificada en envase de 19 litros, por lo que al considerar agua envasada en botellas de 1 ó 1.5 litros los costos ascienden muy por encima de éstos, al igual que cuando el agua proviene o se presume de otras fuentes como manantial.

Más de la mitad (59%) del agua embotellada que se bebe en el mundo es agua purificada, el 41% restante es agua mineral o de manantial (Ferrier, 2001). El agua purificada se refiere al agua superficial o subterránea que ha sido tratada para que sea apta para el consumo humano. Sólo se diferencia del agua del grifo en la manera en que se distribuye (en botellas en lugar de a través de tuberías) y en su precio. Cuando éstas no son de buena calidad y son consumidas por tiempos prolongados pueden presentar riesgo a la salud.

De la misma manera que las empresas de agua envasada, las compañías de refrescos y jugos de San Luis Potosí preparan sus productos a partir de la fuente local de agua, lo que

las convierte en fuentes adicionales de fluoruro. Díaz-Barriga *et al* (1997b) realiza un análisis del nivel de fluoruro para diferentes marcas de jugos embotellados y refrescos que se consumen en San Luis Potosí. Las marcas de jugo embotellados más populares consumidas entre la población infantil tienen niveles de fluoruro muy por encima de la reglamentación para agua embotellada, el resto se mantiene dentro de los rangos aceptados (Tabla 4.5).

Tabla 4.5. Niveles de fluoruro en jugos embotellados colectados en San Luis Potosí

Marca	Nº de muestras	Media aritmética	Desviación estándar	Rango
1	3	0.24	0.01	0.23 - 0.26
2*	4	2.57	0.31	2.28 – 2.87
3*	4	1.72	0.25	1.41 – 1.94
4	3	0.39	0.19	0.38 – 0.41
5	4	0.32	0.07	0.22 – 0.40

Tomado de Díaz-Barriga *et al* (1997b)

Nota: * Marca más popular de consumo infantil

En lo referente a las compañías de refrescos localizadas en San Luis Potosí, la concentración de fluoruro en la marca más popular se encuentra por debajo de la norma, en tanto los refrescos distribuidos por dos compañías analizadas presentaban niveles muy por encima de la regulación (Tabla 4.6).

**Tabla 4.6. Niveles de fluoruro en refrescos de diferentes compañías
Localizadas en San Luis Potosí**

Marca	Nº de muestras	Media aritmética	Desviación estándar	Rango
1	6	3.56	0.10	3.36 – 3.71
2	5	3.04	0.14	2.85 – 3.21
3	4	0.36	0.01	0.35 – 0.37
4*	6	0.40	0.07	0.33 – 0.56

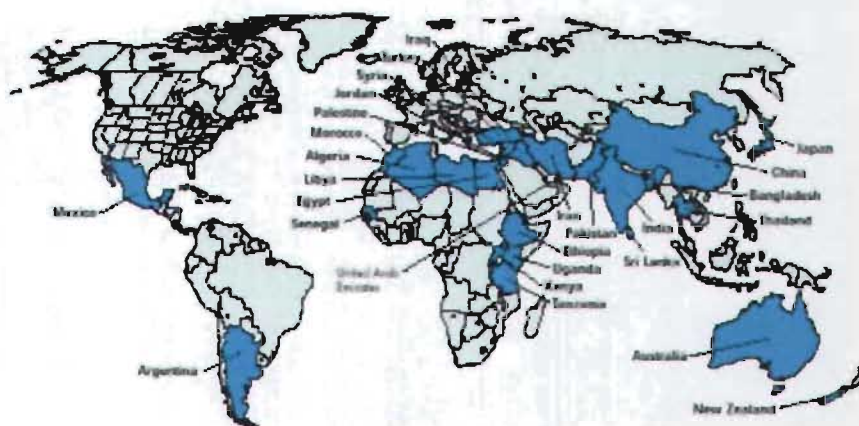
Tomado de Díaz-Barriga *et al* (1997b)

Nota: * Marca más popular

4.2.2.4. Efectos de la exposición al fluoruro

El fluoruro está presente en el agua de bebida, normalmente las concentraciones más altas se asocian al agua subterránea, y también en los alimentos en pequeñas cantidades. A pesar de ser un elemento esencial para la formación de huesos y dientes, es también un elemento claramente tóxico en el que sólo las dosis consumidas diferencian los efectos beneficiosos de los perniciosos. Las intoxicaciones crónicas provocadas por la absorción repetida de pequeñas dosis de derivados fluorados se conocen con el nombre de fluorosis y se refieren en general al consumo de agua relativamente ricas en fluoruro con concentraciones superiores a 2 mg/l. La mayoría del agua contiene 1 mg/l, con concentraciones mayores a 1.5 mg/l se han observado manchas en los dientes, con niveles entre 3.0 a 6.0 mg/l puede producirse fluorosis ósea y cuando supera los 10 mg/l puede producirse fluorosis invalidante (OPS, 1985). La fluorosis es endémica en por lo menos 25 países del mundo (Figura 4.6). El número total de personas afectadas no es conocido, pero estimaciones conservadoras dan una cifra de varias decenas de millones. En México 5 millones de personas (aproximadamente 6% de la población) son afectadas por el fluoruro debido al agua subterránea, que en general se extrae para satisfacer la necesidad de consumo humano.

Figura 4.6. Países con fluorosis endémica debido al exceso de fluoruros en agua de bebida



Fuente: www.unicef.org/programme/wes/info/fluor.htm

La fluorosis dental ha sido reconocida desde el siglo XX en personas con fuerte exposición al fluoruro en agua de bebida. Esta se refiere a los defectos en la mineralización del esmalte dentario secundario durante su formación, debido a la acumulación de fluoruro en el diente. Se evidencia inicialmente con manchas blanquecinas y un aspecto moteado del diente, hasta los grados más severos con teñido color oscuro a negro con pérdida de sustancia, deformación y destrucción importante de los dientes (formación de hoyos). Este es el primer efecto de la exposición continua al fluoruro durante la niñez cuando los dientes se están desarrollando, pero no se encuentra si los dientes erupcionaron antes de que ocurriera la exposición al fluoruro, como es el caso de personas adultas.

Este es el primer signo clínico del efecto tóxico del fluoruro en los niños pudiendo este daño llegar a ser mayor y afectar el sistema óseo. La acumulación esquelética de fluoruro debido a una exposición excesiva y prolongada tiene un efecto en las enfermedades óseas, en particular la fluorosis esquelética y las fracturas óseas. La acumulación persistente de fluoruro en el hueso favorece la actividad osteoblástica, lo que en algún momento se consideró como beneficioso en el tratamiento de la osteoporosis. El nuevo tejido óseo formado no mantiene la estructura normal, sino que es un hueso más denso pero menos elástico que lo hace más susceptible de fracturarse. La fluorosis esquelética se asocia con el consumo de agua potable con niveles elevados de fluoruros, pero se considera que algunos factores como el estado nutricional y el régimen alimenticio, el clima (en relación con el consumo de líquidos), la exposición simultánea a otras sustancias y la ingesta de fluoruro de fuentes distintas del agua de bebida, desempeñan una función importante en la aparición de esta enfermedad.

Teniendo en cuenta que un importante número de individuos en San Luis Potosí están expuestos a una elevada concentración de fluoruro, los estudios se orientan a establecer las fuentes de exposición, el predominio, distribución y severidad de la fluorosis dental y a detectar los casos tempranos de fluorosis esquelética, en el marco de una investigación integral para determinar los efectos de la exposición crónica (Díaz-Barriga *et al*, 1997a; Díaz-Barriga *et al*, 1997b; Grimaldo *et al*, 1995; Grimaldo *et al*, 1997). El resultado de las investigaciones demuestran una prevalencia de fluorosis dental del 76% para niños en edades entre 11-13 años, que se explica por los elevados niveles de fluoruro encontrados

en el 61% de las muestras de agua de grifo colectadas, incluyendo las casas de los niños estudiados.

Para determinar el riesgo de fluorosis y su severidad, es necesario conocer la dosis total de fluoruro a la que se expone el individuo. Con ayuda de un sistema de información geográfica Grimaldo *et al*, (1997) obtiene 4 áreas de riesgo con base en la información de la fluorosis dental en niños y las concentraciones de fluoruro en pozos de agua potable y muestras de agua de grifo doméstico (Figura 4.7). El área de bajo riesgo ubicada al norte y noreste (ciudad de Soledad de Graciano Sánchez) del área metropolitana, coincide con un nivel medio de 0.90 mg/l de fluoruro en agua de grifo y un rango entre 0–0.7 mg/l en pozos, el predominio de fluorosis dental total es del 74% destacando los casos leve a muy leve (Tabla 4.7). A medida que se incrementa la concentración de fluoruro en el agua crecen los niveles de riesgo. Un área de riesgo alto se desarrolla al noroeste y sur de la zona urbana donde se reportaron niveles medios de fluoruro de 2.37 mg/l en agua de grifo y concentraciones de hasta 2.99 mg/l en muestras de pozos, la prevalecencia de fluorosis dental es de 83% con predominio de casos moderados a severos (Tabla 4.7). El área de riesgo máximo se ubica junto al área de riesgo alto, en el sector noroeste y suroeste, con niveles medios de 3.29 mg/l de fluoruro en agua de grifo y niveles mayores a 3 mg/l en agua de pozo, la prevalecencia de fluorosis total es de 96% y la mayoría corresponde a casos moderados y severos (Tabla 4.7). No fue posible definir estrictamente una franja continua que cruza la zona urbana de oeste a este debido a que se encontraron niveles variables de fluoruro en grifos y pozos, y prevalecencia en una amplia gama (área de riesgo indefinido).

La variación en las concentraciones de fluoruro pueden explicarse observando la construcción de cada pozo; cuando la parte ranurada del ademe del pozo está en la roca volcánica fracturada, el agua captada tendrá un contenido de fluoruro mayor y una temperatura más elevada que en el caso de un ranurado dispuesto en el material granular. Con base ello, Carrillo-Rivera *et al* (2002) ha demostrado que la concentración de fluoruro puede regularse con un adecuado diseño en la construcción y operación de pozos.

Figura 4.7. Niveles de riesgo con base en el grado de severidad de fluorosis dental y niveles de concentración de fluoruro en agua de grifo y pozos municipales



Aéreas de Riesgo

- 1 Bajo Riesgo
- 2 Alto riesgo
- 3 Máximo riesgo
- 4 Riesgo indefinido

Tomado de UASLP y SSE (2004)

Tabla 4.7. Prevalencia y severidad de fluorosis dental en áreas de riesgo

Nivel de riesgo	Nivel medio de fluoruro en grifo (mg/l)	Nivel de fluoruro en pozos (mg/l)	Grado de severidad (% pobl. est.)			Prevalencia de fluorosis dental (%)
			Normal			
			Muy leve s/evidencia	Moderado Leve	Severo	
Bajo	0.90	0-0.70	26	46	28	74
Indeterminado	1.69	0.71-1.5				
Alto	2.37	1.51-2.99	17	26	57	83
Máximo	3.29	> 3.0	4	12	84	96

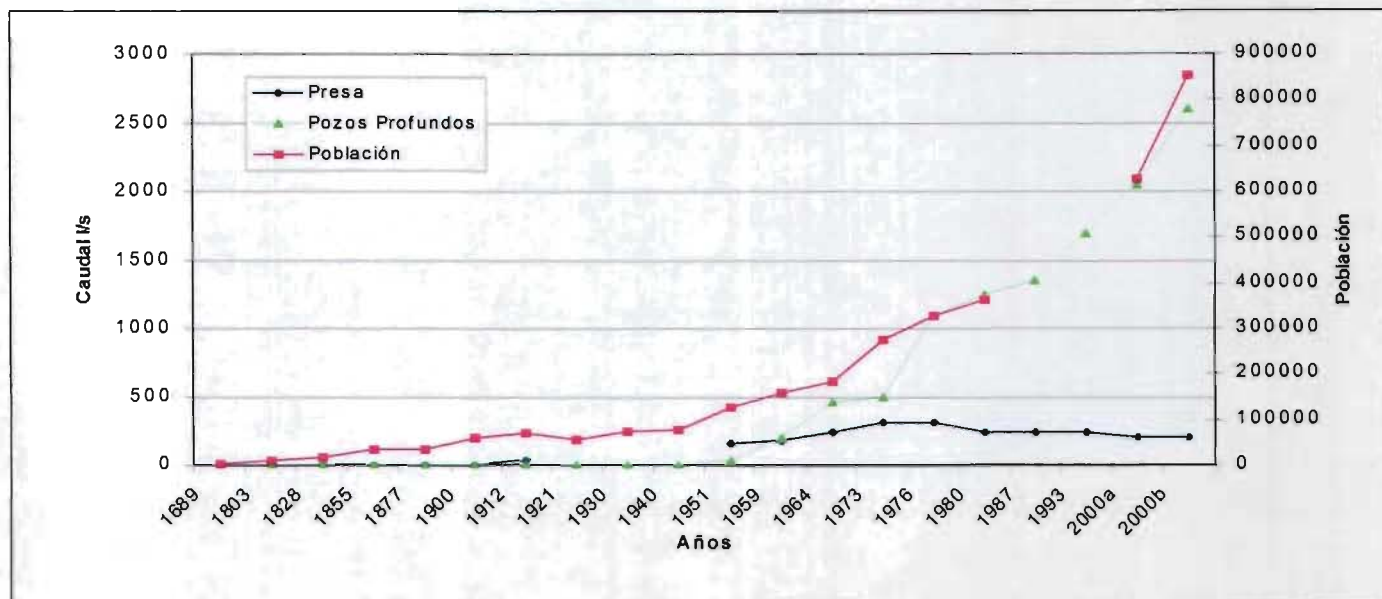
Adaptado de Grimaldo *et al* (1997)

En general, las áreas de riesgo bajo, alto y máximo se explican con los contenidos de fluoruro detectados en las muestras de agua de grifo y de pozos municipales, si bien algunos pozos pueden presentar concentraciones más bajas que las detectadas en el agua de grifo. Esto se debe a que dos o más pozos pueden estar conectados a la red de distribución en un mismo sector, produciéndose una mezcla que modificará la concentración. Las áreas definidas como de riesgo alto y máximo coinciden con las zonas de concentración de fluoruro y temperatura más elevada. La relación entre contenidos de fluoruro y temperatura del agua fue explicada oportunamente.

Si bien el agua de grifo explicó en gran medida la prevalencia de la fluorosis dental, en el área de riesgo bajo con un promedio de fluoruro en agua de grifo de 0.9 mg/l se detectó niveles de fluorosis dental moderada a severa. Los autores explican esto debido a otras fuentes de fluoruro definidas por Díaz-Barriga (1997b) tales como jugos embotellados, refrescos, agua embotellada, alimento cocinado con agua contaminada y el uso de agua hervida para las fórmulas infantiles de reconstitución, que aumenta la concentración del fluoruro proporcional a la pérdida de volumen.

Respecto a la fluorosis esquelética, estas investigaciones detectaron algunos casos preliminares mediante diagnósticos de rayos X y densiometría, pero sin resultados concluyentes.

Figura 4.8. Relación temporal del abastecimiento y eliminación de agua residual



	Primera etapa:	Segunda etapa	Tercera etapa
Abastecimiento de agua	Aprovechamiento de escurrimientos superficiales y manantiales de piedemonte con pequeñas obras de captación y conducción. Captación del acuífero somero por medio de la excavación de pozos y norias.	Construcción de obras hidráulicas para el aprovechamiento de los recursos superficiales (presas, acueductos). Captación del acuífero somero por medio de la excavación de pozos y norias. Exploración y captación del acuífero profundo.	Se abandonan los pozos someros para abastecimiento humano a causa de la contaminación y bajos caudales. Abastecimiento con pozos cada vez más profundos y con agua superficial de la Presa San José.
Disposición de desechos	Disposición de excretas y agua residual in situ (letrinas, pozos negros). Disposición de agua residual en cauces y canales. Disposición de residuos sólidos en el suelo.	Disposición de excretas y agua residual in situ (letrinas, pozos negros). Eliminación de agua residual en cauces y canales, formación de zonas de acumulación en terrenos periurbanos. Disposición de residuos sólidos en el suelo.	Disposición mínima de agua residual in situ. Construcción de red de alcantarillado. Los colectores de la red de alcantarillado (canales a cielo abierto) descargan el agua residual sin tratamiento en zonas periféricas.
Procesos	<i>Funciones del subsuelo en conflicto:</i> Contaminación del acuífero somero con agua residual, excretas y lixiviados de residuos sólidos. Incipiente riego con agua residual en zona periurbana.	<i>Funciones del subsuelo en conflicto:</i> Contaminación grave del acuífero somero. Aumenta la superficie de riego con agua residual en zona periurbana. Desconocimiento del funcionamiento del acuífero profundo y manejo inadecuado de la captación.	Extracción intensiva y concentrada del acuífero profundo con altos contenidos de fluoruro. Construcción deficiente de pozos. Filtraciones de agua contaminada al acuífero profundo y red de abastecimiento domiciliario. Riego extenso con agua residual sin tratamiento en zonas periurbanas.
Efectos	Epidemias de cólera y otras enfermedades relacionadas con la salubridad y la calidad del agua.	Descensos de niveles por interferencias entre pozos cercanos. Disminución de rendimiento de los pozos profundos y aumento del consumo de energía. Afecciones a la salud pública por consumo de agua y alimentos contaminados.	Importantes efectos a la salud pública por enfermedades infecciosas intestinales. Fluorosis endémica por altos contenidos de fluoruro en el agua. Descenso de niveles, bajos rendimientos, altos consumos de energía,

Conclusiones

La integración de los procesos hidrogeológicos y socioeconómicos en el espacio local y regional, permitieron establecer los efectos de la urbanización sobre el agua subterránea, identificar los ámbitos espaciales con mayor afectación social y ambiental y establecer las tendencias urbanas y de abastecimiento de agua.

El análisis temporal de la región a partir de la fundación de la ciudad de San Luis Potosí, permitió establecer tres etapas desde las continuidades observadas en las características socioeconómicas y tecnológicas que incidieron en la infraestructura vial y el aprovechamiento de los recursos; las rupturas progresivas y en una franja transicional, se establecieron por los cambios más significativos (**Tabla 2.1 y Figura 2.5, ver página 45 y 46**). El análisis temporal de los procesos a escala regional, permitió establecer una interpretación histórica de las distintas etapas por las que ha atravesado la ciudad en las modalidades de aprovechamiento del recurso hídrico. El modelo de abastecimiento y descarga de agua residual de la ciudad de San Luis Potosí (**Figura 4.1. ver página 71**), se construyó a partir del modelo hidrogeológico a escala de la cuenca.

En la primera etapa establecida entre fines del siglo XVI y fines de siglo XIX, los elementos estuvieron representados por la minería, la tecnología deficiente en la extracción y el aprovechamiento de los recursos naturales, la infraestructura vial que respondía a los intereses de la etapa colonial, la presencia de agua superficial y subterránea somera para la sostenibilidad de la población y la economía. En la segunda etapa, desde fines del siglo XIX a mediados del siglo XX, se verificó un cambio hacia una economía básicamente agrícola debido a los factores tecnológicos de la primera etapa y en respuesta al modelo agro-exportador. Esto incidió en las políticas hidráulicas que se concentraron en la construcción de obras para la captación de los recursos hídricos superficiales y la construcción de pozos someros. En tanto la construcción de la red troncal de vialidades (carreteras y vías férreas) siguió el modelo norte sur condicionado por la comunicación entre las zonas productivas, las principales ciudades y las relaciones comerciales con los Estados Unidos de América, que fortalecieron la ciudad de San Luis Potosí como centro

regional. El aumento de la población incrementó la descarga de agua residual en el área urbana y periurbana desalojadas por medio de cauces naturales y canales, que afectaron el abastecimiento urbano y la salud de la población. La tercera etapa desde mediados del siglo XX a la actualidad, se caracteriza por la transformación de la base económica que pasa de la agricultura a la industria y los servicios, en parte impulsado por las limitaciones del recurso hídrico y el incremento de las necesidades urbanas que comenzaron a generar la competencia de usos de agua. El rasgo urbano está dado por el proceso de concentración de población y el crecimiento del área urbana, en respuesta básicamente a la migración rural-urbana y urbana-urbana desde las localidades de menos de 15 000 habitantes. La concentración de la inversión, la infraestructura y la población reforzaron el desequilibrio regional y dio inicio al proceso de conurbación y metropolización. El abastecimiento de agua se caracteriza por el rápido desarrollo del acuífero profundo, y el desalojo de agua residual hacia la periferia y su uso para riego de la agricultura periurbana.

Las necesidades de agua en la ciudad, incluyen la dotación necesaria para abastecer la población y mantener su bienestar social, atender las actividades económicas y conservar los valores ambientales. De esta manera, las necesidades de agua no son valores fijos, dependen de variables dinámicas interrelacionadas y cada vez más complejas.

La dimensión temporal del crecimiento urbano y del abastecimiento de agua se modifica y acelera en las últimas décadas. La **Figura 4.8 (ver página 101)** elaborada con base en el crecimiento de la población y al caudal aportado para abastecimiento por las fuentes de agua superficial y subterránea profunda, permite observar este efecto. En las primeras dos etapas (desde fines del siglo XVI a mediados del siglo XX), las fuentes superficiales captadas por obras hidráulicas y los pozos someros abastecieron la población y las actividades económicas del área urbana y periurbana. En la tercera etapa, que abarca las últimas cinco décadas, la población de la ciudad se quintuplica, y si se considera la zona metropolitana (ciudades de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez) en el período 1980-2000 la población se duplica, pasando de 411 544 a 798 782 habitantes. En esta etapa, el acuífero profundo fue la única fuente confiable de abastecimiento para las necesidades derivadas del crecimiento.

Al comienzo de la tercer etapa, coincidiendo con el inicio de las perforaciones profundas, la extracción crece más que la población posiblemente para compensar los rezagos en el abastecimiento. Posteriormente se observa un período donde la extracción prácticamente se paraliza, en tanto la población se incrementa más aceleradamente; esto coincide con las restricciones para el alumbramiento de agua subterránea dictada por los decretos de veda de 1961 y 1962 debido a las condiciones de "sobreeplotación" del acuífero profundo. Si bien en un primer momento los decretos de veda frenaron la construcción de pozos, la inexistencia de otras fuentes de agua cercanas dio paso a la flexibilización. Entonces inicia el período de mayor extracción que seguramente corresponde a la construcción de pozos para uso público-urbano, muchos de los cuales cubrieron las necesidades de las industrias. Siguió un segundo período donde la curva de extracción disminuye, aunque no tan drásticamente; esto puede relacionarse con la crisis de la industria debido a la situación política en la década de los ochenta, que afectó la inversión y el empleo, y reorientó la economía al sector del comercio y los servicios que emplean menos agua. La recuperación de la economía permite observar el último período donde la población y la extracción crecen considerablemente y casi de igual manera. Actualmente más del 90% del total de agua que abastece la ciudad y zona periurbana para todos los usos, es agua de pozo profundo.

La creciente extracción de agua subterránea profunda en las últimas décadas, sin dudas ha sustentado el desarrollo socioeconómico de San Luis Potosí; paralelamente el conocimiento del acuífero profundo se ha ido desarrollando, pero con ciertas limitaciones. Los análisis poco serios y datos poco confiables dan lugar a predicciones poco alentadoras del recurso, las cuales impulsan cada vez con mayor fuerza la importación de agua de fuentes lejanas.

Un ejemplo de ello son los decretos de veda para la extracción de los años 1961 y 1962. A poco más de 10 años de haber iniciado la extracción del acuífero profundo, y considerando que el consumo aun era poco significativo comparado con los actuales, se decretó la veda por condiciones de "sobreeplotación" según los organismos oficiales. El abrupto descenso del nivel piezométrico del acuífero profundo que fundamentó la veda, se

debía a la proximidad entre pozos y no al supuesto “agotamiento” del almacenamiento de agua; apenas en la década de 1960 se reconoció la importancia de una distancia mínima de 500 m entre pozos de producción.

En 40 años desde la implementación de los decretos de veda el número de pozos destinados a la industria creció de 18 a 49 y la extracción de 200 l/s a 310 l/s, en tanto los destinados a uso público urbano se incrementaron de 20 a 153 pozos y la extracción de 457 l/s a 2 714 l/s. Si bien este incremento en la extracción ha repercutido en la calidad por la inducción de agua termal con fluoruro, un estudio realizado por Carrillo-Rivera *et al* (2002) ha demostrado que la concentración puede regularse con un adecuado diseño en la construcción y operación de pozos. En relación con el descenso del nivel piezométrico, los datos varían por sector y muestran un mayor descenso en el sector suroeste coincidiendo con los valores más altos de contenido de fluoruro (**Figura 4.7, ver pagina 99**). Esto podría deberse a una extracción concentrada en pozos de uso urbano que están abasteciendo industrias localizadas en las proximidades.

Con base en lo anterior, se estaría en condiciones de afirmar que si bien el recurso agua tiene sus límites, los problemas de falta de conocimiento y gestión inadecuada hacen predecir tempranamente problemas de cantidad.

El análisis de la dimensión temporal y espacial desarrollado en los cuatro capítulos de este estudio, permite identificar los procesos y efectos ambientales y sociales de la urbanización y el abastecimiento de agua por ámbito espacial. De ellos se concluye que, tanto los procesos como sus efectos se desplazan progresivamente hacia la periferia cercana a medida que la ciudad evoluciona. Entre estos encontramos los cambios en el escurrimiento natural, la disposición de agua residual, la extracción intensiva de agua subterránea, el crecimiento de población, el cambio de la población económicamente activa, la urbanización sobre tierras agrícolas ejidales, el cambio de uso de suelo. De esta manera, los mayores cambios sociales y ambientales actuales se concentran y modifican el espacio periurbano cercano (**Tabla 5**).

Tabla 5: Procesos y efectos ambientales y sociales originados por la urbanización y el abastecimiento de agua por ámbito espacial

ESPACIOS PROCESOS		URBANO	PERIURBANO	
			CERCANO	LEJANO
AMBIENTALES	Hidrológico Superficial	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Construcción en áreas de escurrimiento natural (cambios en el escurrimiento). ➤ Inundación de vialidades y viviendas. ➤ No hay separación entre agua pluvial y residual. ➤ Conversión de cauces naturales en desagües de agua residual. ➤ Construcción de canales de desagüe a cielo abierto. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Modificación de escurrimientos naturales por vialidades y construcciones. ➤ Captación, conducción y distribución de baja eficiencia para abastecimiento y riego. ➤ Construcción de canales de desagüe a cielo abierto y lagunas residuales. ➤ Riego agrícola con agua residual. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Escasa o nula captación de escurrimientos temporales.
	Hidrológico subterráneo	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Funciones en conflicto: abastecimiento, y disposición de excretas y agua residual. ➤ Cambio de condiciones naturales de recarga por construcción e infiltración de agua residual. ➤ Contaminación de acuífero somero y abandono para uso humano. ➤ Desarrollo y extracción intensiva del acuífero profundo para usos urbano e industrial. ➤ Inducción de agua termal con fluoruro. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Disposición e infiltración de agua residual y pluvial. Cambio de condiciones naturales de recarga. ➤ Contaminación acuífero somero. ➤ Aprovechamiento de acuífero somero contaminado para actividades primarias. ➤ Extracción intensiva del acuífero profundo para uso agrícola. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Condiciones litológicas poco favorables para almacenamiento de agua. ➤ Efectos a zonas de recarga y descarga de localización desconocida o inadvertida.
	Vegetación y suelo	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Acaparamiento de áreas verdes por sectores medios y altos. ➤ Reemplazo de vegetación nativa por especies foráneas y de mayor consumo de agua. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Extracción forestal intensiva para minería y ferrocarriles. ➤ Erosión y contaminación de suelos agrícolas por agua residual y residuos sólidos. ➤ Uso del subsuelo como atenuante de contaminantes. ➤ Urbanización en suelos agrícolas, áreas de recarga y áreas próximas a canales residuales. ➤ Proyectos para restauración y conservación. Áreas naturales protegidas. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Extracción forestal intensiva para minería y ferrocarriles. ➤ Erosión de suelos.

Continuación

SOCIALES	<p>Socio demográficos</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Duplicación de la población en 20 años. ➤ Densificación de asentamientos en condiciones irregulares asociados a la industria y los servicios. ➤ Disminución de densidad en área central. ➤ Concentración de altos niveles de bienestar en detrimento del resto de localidades. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Crecimiento y densificación de población. ➤ Fuerte disminución de la PEA agrícola e incremento en el sector secundario y terciario. ➤ Movimientos pendulares intensos de trabajadores (<i>commuters</i>) asociados a ejes de transporte. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Migración rural-urbana y urbana-urbana. ➤ Población rural dispersa. ➤ Disminución de la PEA agrícola e incremento en el sector secundario y terciario. ➤ Movimientos pendulares diferenciados de trabajadores (<i>commuters</i>) asociados a ejes de transporte.
	SOCIALES	<p>Económicos</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Polarización económica: reforzamiento de desigualdad regional. ➤ Concentración de fuentes de empleo. ➤ Concentración de industria exportadora de alta tecnología. ➤ Reforzamiento de sectores alimenticio, bebidas y metálica básica. Bajo desarrollo del sector textil (altamente contaminante y consumidor de agua). ➤ Impulso y consolidación del sector terciario. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Coexistencia rural urbana. ➤ Diversificación de economía (trabajo agrícola y urbano temporal). ➤ Mercado de derechos de agua (uso agrícola a industrial y habitacional). ➤ Localización de industria y servicios poco desarrollados. ➤ Disminución de agricultura de bajo rendimiento. ➤ Agricultura de alto consumo de agua (alfalfa) para mercado nacional.
SOCIALES		<p>Urbanos</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Despoblamiento y sustitución de uso de suelo en el área central. ➤ Especialización funcional: descentralización de equipamiento e infraestructura. ➤ Segregación habitacional y de servicios de estratos altos y bajos. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Conurbación-metropolización. ➤ Expansión sobre tierras agrícolas ejidales y áreas de recarga. ➤ Cambio de uso de suelo. ➤ Creación de reserva de suelo de bajo costo para expansión futura. ➤ Construcción de un sistema de saneamiento de agua residual y su aprovechamiento para riego y energía. ➤ Descentralización: aparición incipiente de subcentros. ➤ Sobreposición de flujos urbanos y regionales sobre los mismos ejes viales.

Continuación

POLÍTICOS	Gestión de agua	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Concentrada en el abastecimiento urbano. ➤ Mercado de agua (derechos de uso agrícola a uso urbano, industrial y de servicio). ➤ Limitaciones de conocimiento del agua subterránea que influyen en cálculos y predicciones poco alentadoras, que se muestran como realidad (cuenca superficial = cuenca subterránea). ➤ Carencia de datos fiables para la gestión del abastecimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Fuertes limitaciones de conocimiento del funcionamiento del agua subterránea (zonas de recarga y descarga). ➤ Legislación deficiente o inexistente para la protección de áreas prioritarias.
	Gestión urbana	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Incentivos para aumentar la concentración de la población y la economía. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Falta de políticas de desarrollo en áreas rurales marginales . ➤ Estrategias para desalentar la agricultura (como fuente de recurso de agua y suelo).

Fuente: Elaboración propia

La agricultura es el segundo consumidor de agua en la cuenca con 122 pozos profundos de los cuales se extrae 657 l/s.; a pesar de ello en el año 1990 sólo 2% de la población de San Luis Potosí y 4% de los trabajadores del municipio de Soledad de Graciano Sánchez trabajaban en el sector. A estos elementos se suman la baja rentabilidad y las estrategias que desalientan la actividad, convirtiéndolo en el sector más vulnerable del proceso de expansión urbana y en la fuente de oferta de derechos de agua y suelo de bajo costo, para ser adquiridos por los constructores de fraccionamiento, las industrias y los servicios.

Por otra parte, las posibilidades de conformación de un corredor urbano regional de importancia, están restringidas debido a las características naturales de las zonas áridas que frenan las posibilidades de inversión e infraestructura para la desconcentración.

En el caso de San Luis Potosí, si bien existen algunos elementos de expansión hacia la periferia lejana como el eje carretero trasnacional, es aún deficiente para favorecer inversiones de importancia. La falta de políticas de impulso, como el Plan Nacional de Desarrollo Urbano y Vivienda de la década de los ochenta, inhiben la desconcentración y tienden a aumentar el desequilibrio regional como una característica perniciosa de la urbanización en México. El Plan de Desarrollo Urbano Estatal 2000-2020 planteado con el objeto de inducir el equilibrio territorial, modificando las tendencias de localización de las actividades económicas y la población, no es un eje de la política estatal.

Contrariamente a los objetivos de desconcentración, la política en materia de abastecimiento de agua tiene por objeto asegurar la expansión económica y el desarrollo social de la zona metropolitana, a través de la importación de agua desde la vecina cuenca de Villa de Reyes. Los impactos de estas decisiones, han repercutido negativamente en numerosos ámbitos de México. Como lo han planteado Puente (1992) y Delgado (1993) para otras regiones, se crea una vulnerabilidad en los procesos urbanos y económicos al depender del abastecimiento de otras regiones, a la vez que se impulsa una dinámica regional que refuerza el papel central de la zona metropolitana.

El análisis espacial de San Luis Potosí, permite visualizar un fuerte desequilibrio caracterizado por la concentración urbana y económica en la zona metropolitana con

tendencias a aumentar, y un amplio discontinuo segregado con poblaciones carentes de servicios e infraestructuras básicas en el resto de la región, sin políticas para su desarrollo. Este trabajo permite entender los procesos y las dinámicas, que con ciertas particularidades, afectan a gran parte de las zonas áridas caracterizadas por el desarrollo concentrado en unas pocas ciudades, que siempre involucran las capitales de estados, y grandes discontinuidades espaciales con poblaciones marginales; esto a diferencia de los continuos urbanos que se observan en la Región Central de México.

Bibliografía citada

Aguilar, A., Graizbord, B., Sánchez Crispín, A.; 1996; Las ciudades intermedias y el desarrollo regional en México; Consejo Nac. para la Cultura y las Artes, Universidad Nac. Autónoma de México; El Colegio de México A.C., México, pp. 403.

Back, W., Rosenshein, J.S., Seaber, P.R.; 1988; Hydrogeology. The geology of North America; Geol. Soc. Am.2; p.524.

Bellet, C; 2000a; Ciudades intermedias. Urbanización y globalización; Conferencia en el marco del Seminario: Red de ciudades intermedias para el valle del Cauca, Cali, Colombia; Documento 7; Programa UIA-CIMES; Octubre 2000.

Bellet, C; 2000b; Ciudades intermedias y urbanización mundial. Una visión general a finales del siglo XX; Conferencia para el Seminario Internacional "El rol de las ciudades iberoamericanas"; Documento 8; Programa UIA-CIMES; Resistencia, Argentina, Diciembre 2000.

Cardona A. 1990; Caracterización físico-química y origen de los sólidos disueltos en el agua subterránea del valle de San Luis Potosí: Su relación con el sistema de flujo; Tesis de maestría en agua subterránea, Universidad de Nuevo León, México, p 97.

Cardona, A., Carrillo, J., Armienta, M.; 1993; Elemento traza: contaminación y valores de fondo en aguas subterráneas de San Luis Potosí, SLP, México; Geofísica Internacional; Vol. 32; Núm. 2; pp.277-288.

Carrillo, J. y Armienta, M.; 1989; Diferenciación de la contaminación inorgánica en las aguas subterráneas del valle de la ciudad de San Luis Potosí, SLP, México; Geofísica Internacional; Vol. 28-4; pp. 763-783.

Carrillo Rivera, JJ; 1992; The hydrogeology of the San Luis Potosí area, Mexico; Ph D Thesis; London University; UK; pp 196.

Carrillo-Rivera, JJ; Clark, DI; Fritz, P.; 1992; Investigating recharge of shallow and paleo-groundwater in the Villa de Reyes Basin, SLP, Mexico, with environmental isotopes, Applied Hydrogeology; Official Journal of the International Association of Hydrogeologist 4-92; pp. 35-48.

Carrillo-Rivera, JJ., Cardona, A., Moss, D.; 1996; Importance of the vertical component of groundwater flow: a hydrochemical approach in the valley of the San Luis Potosí, México; Journal of Hydrology 185, pp.23-44.

Carrillo-Rivera, JJ; 2000; Application of groundwater balance techniques in two semi-arid drainage basins in Mexico: indications for inter-basin and vertical flow. Hydrogeology Journal; 8-5, 503-520.

Carrillo-Rivera, J.J., Cardona, A., Edmunds, W.M., 2002; Use of abstraction regime and knowledge of hydrogeological conditions to control high-fluoride concentration in abstracted groundwater: San Luis Potosi basin, Mexico; Journal of hidrology; Vol.261; pp. 24-47.

Chías Becerril, L.; 1995; Consecuencias regionales de la evolución de la red carretera en México; en Calva y Aguilar (Coords.) Desarrollo regional y urbano. Tendencias y Alternativas; Tomo II, p.168-189.

CNA; 2000a; Estudio de factibilidad para el aprovechamiento de las aguas residuales tratadas en la zona conurbada de San Luis Potosí–Soledad de Graciano Sánchez, Gerencia Estatal en San Luis Potosí; Informe interno.

CNA; 2000b; Condiciones geohidrológicas del sistema acuífero del Valle de San Luis; Gerencia Estatal en San Luis Potosí; Informe interno.

CNA; 2002a; Saneamiento de la zona conurbada de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez; Gerencia Estatal en San Luis Potosí; Informe Interno; p.22.

CNA, 2002b; Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero San Luis Potosí, Estado de San Luis Potosí; Gerencia Estatal en San Luis Potosí; Informe interno; p. 26

CNA, OMM, Banco Mundial; 2004; Proyecto de manejo integrado y sostenible del agua en la Región Centro de San Luis Potosí; Segundo informe de avance; Informe interno.

Custodio, E. y Cabrera, M.C.; 2002; ¿Cómo vivir con la escasez de agua? El caso de las Islas Canarias; Boletín Geológico y Minero de España; Madrid; Vol. 113-3; pp.243-258.

Custodio, E.; 2004; Hidrogeología urbana: una nueva rama de la ciencia hidrogeológica; Boletín Geológico y Minero; 115 Núm. especial; pp.283-288.

Delgado, J; 1993; Querétaro: hacia la ciudad-región; Estudios Demográficos y Urbanos 24; El Colegio de México; Vol.8 (3); pp.655-699.

Delgado, J.; 2003a; La urbanización difusa, arquetipo territorial de la ciudad-región; en Nuevos enfoques de la relación campo-ciudad; Sociológica Nº.51; Universidad Autónoma Metropolitana, México; pp.16-48

Delgado, J.; 2003b; Rural Urban Transition and Urban Sprawl, en *Proceedings* de la reunión anual de la Comisión Urbana, *International Geographic Union*, Pretoria Conference, Perspective on Urban Spheres, Sudáfrica.

De Lira Santillán, A.G. y Nieto Ahumada, B.; 1989; Fluoruros en aguas de consumo en la ciudad de San Luis Potosí y área conurbada con el municipio de Soledad de Graciano Sánchez; Tesis Profesional; UASLP, S.L.P.

Díaz-Barriga, F., Navarro-Quezada, A., Grijalva, M.I., Grimaldo, M., Loyola-Rodríguez, J.P. Ortiz, M.D.; 1997a; Endemic fluorosis in México; Fluoride; Vol.30, N° 4; pp.233-239.

Díaz-Barriga, F., Leyva, R., Quistián, J., Loyola-Rodríguez, J.P., Pozos, A., Grimaldo, M.; 1997b; Endemic fluorosis in San Luis Potosi, México, IV. Sources of fluoride exposure; Fluoride; Vol.30, N° 4; pp.219-222.

Díaz de León, E; 1988; Estudio actualizado (87-88) de la calidad del agua de abastecimiento en la Ciudad de San Luis Potosí; IIZD UASLP; Edición mimeografiada.

Dourojeanni A y Jouravlev A; 1999; Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos; CEPAL; Serie División de Recursos Naturales e Infraestructura LC/R.1948; Santiago de Chile.

Dourojeanni A, Jouravlev A y Chávez G; 2002; Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica; CEPAL; Serie División de Recursos Naturales e Infraestructura N° 47, Santiago de Chile, p. 83.

Durand J., Arias P. y Peña E.; 1999; Balance sociodemográfico del estado de San Luis Potosí, El Colegio de San Luis, México, p.118.

Edmunds, W.M.; Cook, J.M. y Miles, D.L.; 1986; Lithium mobility and cycling in dilute continental waters; Water-Rock Interaction V; Proc. int. congress; Extended abstract; pp. 183-187.

Engelen GB y Jones GP; 1986; Water systems, methodology and definitions; in Developments in the analysis of groundwater flow systems; Editores GB Engelen y GP Jones; IAH 63: 67-107.

Ferrier, C.; 2001; Bottled water: understanding a social phenomenon; Discussion paper; Report commissioned by WWF; p.26.

Flores Luna, M.L.; 1996; Evaluación de riesgo en la salud en el Municipio de Soledad de Graciano Sánchez, Tesis Profesional, Facultad de Ciencias Químicas, UASLP; San Luis Potosí; p. 45.

Foster, S., Lawrence, A., Morris, B.; 2001; Las aguas subterráneas en el desarrollo urbano, evaluación de las necesidades de gestión y formulación de estrategias; Documento Técnico del Banco Mundial No 390; Banco Mundial, Washington DC, p 60.

Gallegos González, Y; 1982; Estudio bacteriológico del agua para suministro en la ciudad de San Luis Potosí; IIZD, UASLP.

Gallegos González, Y; 1985; Estudio bacteriológico del agua para suministro en el Municipio de Soledad Diez Gutiérrez (Soledad de Graciano Sánchez); IIZD, UASLP.

Gallegos González, Y. y Jasso, S.; 1995; Estudio de la calidad del agua de garrafón y demás presentaciones comerciales que se consumen en la ciudad de San Luis Potosí; Instituto de Investigaciones de Zonas Desérticas, UASLP.

Gallegos González, Y.; 2002; Una interpretación hidrogeoquímica del acuífero profundo del Valle de San Luis Potosí, Información para una estrategia de abastecimiento; Tesis de Maestría; UASLP, Facultad de Ingeniería; p. 282.

Grimaldo, M., Borja-Aburto, V., Ramírez, A., Ponce, M., Rosas, M., Díaz-Barriga, F.; 1995; Endemic fluorosis in San Luis Potosí, Mexico: I Identification of risk factors associated with human exposure to fluoride; Environmental Research, N° 68; pp.25-30.

Grimaldo, M., Turrubiarres, F., Milán, J., Pozos, A., Alfaro, C., Díaz-Barriga, F.; 1997; Endemic fluorosis in San Luis Potosí, México: III Screening for fluoride exposure with a Geographic information system; Fluoride; Vol.30; N° 1; Research Report 33; pp. 33-40.

Gutiérrez de MacGregor, M.T. and Valverde, C.; 1975; Evolution of the urban population in the arid zones of Mexico, 1900-1970; Geographical Review; American Geographical Society, p. 214-228.

Gutiérrez de MacGregor, M.T. y Valdez Quijada, R.; 1997; Zonas áridas de México: Cambios en el crecimiento de la población urbana y su distribución de 1900 a 1990; Revista Geografía y Desarrollo; Colegio Mexicano de Geografía A.C., N° 15, pp.67-79.

Instituto de Geofísica UNAM; 1988; Estudio geofísico geohidrológico del Valle de San Luis Potosí; Contrato Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulico SARH CC-86-314D con el Instituto de Geofísica UNAM.

Instituto de Geografía UNAM; 1999; Recopilación, integración y ordenamiento de información relativa a los sistemas de flujo de agua subterránea en la Cuenca San Luis Potosí y su relación con la Sierra Madre Occidental; Convenio Instituto de Geografía SGT-GAS-001/PR099 con la Comisión Nacional del Agua.

Instituto de Investigaciones de Zonas Desérticas UASLP; 1961; Estudios geohidrológico y físico-químico de los suelos en el Municipio de Soledad Diez Gutiérrez, SLP, p. 39

Iturribarria, C.; 1855; San Luis Potosí en Diccionario Universal de Historia y Geografía, México; Apéndice III; pp 315-331.

LLamas, R., Hernández-Mora, N., Martínez-Cortina, L., 2000; El uso sostenible de las aguas subterráneas, Uso intensivo de las aguas subterráneas: Aspectos éticos, tecnológicos y económicos; Serie A, N°1; Papeles del proyecto aguas subterráneas, Fundación Marcelino Botín; Madrid, p.54.

Llamas, M.R. y Custodio, E.; 2002; Acuíferos explotados intensivamente: Conceptos principales, hechos relevantes y algunas sugerencias; Boletín Geológico y Minero de España; Madrid; Vol. 113-3; pp.223-228.

Márquez, E.; 1986; San Luis Potosí, Textos de su historia; Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora, México; p 548.

Medellín, P., Alfaro, C., Sarabia, Is., Sarabia, Ir., De Lira, A., Nieto B.; 1989; Fluorides in drinking water its correlation with parameters of the aquifer and effect on dental health in the city of San Luis Potosi, Mexico, FCQ UASLP.

Molina-Maldonado A; 1996; Diferenciación hidrogeoquímica de los sistemas de flujo de agua subterránea en la zona del estado de Aguascalientes, México; Tesis de Ingeniero Geólogo; Facultad de Ingeniería, UNAM (Mención Honorífica); p121.

Monroy Castillo, M.I. y Calvillo Unna, T.; 1997; Breve historia de San Luis Potosí; Fideicomiso Historia para las Américas; El Colegio de México y Fondo de Cultura Económica; México; p.335.

Organización Panamericana de la Salud; 1985; Guías para la calidad del agua potable; Publicación científica N° 481.

Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud; 1995; Salud y ambiente en el desarrollo humano sostenible de las Américas, en Conferencia Panamericana sobre Salud y Ambiente en el Desarrollo Humano Sostenible; Washington, D.C.

Palacios, I.; 1890; Estudio hidrotimétrico de las aguas potables de los pozos públicos de la capital, inspección de bebidas y comestibles, San Luis Potosí, SLP.

Palacios, I.; 1906; Las aguas potables de la capital de San Luis Potosí, SLP; Sociedad Farmacéutica Mexicana, p.19

Pax Magazine International; 1906; San Luis Potosí; Vol XIV No 1, pp 17-28 y 37-58.

Plan Estatal de Desarrollo Urbano del Estado de San Luis Potosí 2001-2020 (PDUSLP); 2000; Secretaría de Desarrollo Urbano Comunicaciones y Obras Públicas del Gobierno del Estado de San Luis Potosí, Secretaría de Desarrollo Social y Universidad Autónoma de San Luis Potosí; Versión no oficial en CD.

Plan del Centro de Población Estratégico San Luis Potosí - Soledad de Graciano Sánchez; 2003; Ayuntamiento de San Luis Potosí, SLP; versión .pdf; p. 172

Pool DR. 1986; Aquifer geology of alluvial basins of Arizona: Regional aquifer systems in the U.S.A.; American Water Resources Association; pp 25-25.

Puente, S.; 1992; Análisis de vulnerabilidad socio-espacial (urbano-ambiental) de la ZMCM, en Plan regional metropolitano del Valle de México; Roberto Eibenschutz (coord.); Ámbito territorial; Vol.III; México; Gobierno del Estado de México, Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas, Dirección de Desarrollo Urbano y Vivienda.

Rodríguez, A., Espinoza, V. y Herzer, H.; 1995; Urban Research in the 1990s: Argentina, Bolivia, Chile, Ecuador, Peru, Uruguay. Proposals for an Agenda, in: STREN, Richard (ed.). Urban Research in the Developing World. Volume 3: Latin America. University of Toronto Press Incorporated.

Santos Zavala, J.; 2004; Acción pública organizada: El caso del servicio de agua potable en la zona conurbada de San Luis Potosí; Universidad Autónoma Metropolitana y El Colegio de San Luis; pp. 203-213, 249-251.

Schteingart, M. y D'andrea, L. (eds.); 1991; Servicios Urbanos, Gestión Local y Medio Ambiente; El Colegio de México.

Schteingart, M.; (1995); Urban Research in México, Colombia and Central America, in STREN, Richard (ed.); Urban Research in the Developing World; Volume 3: Latin America; University of Toronto Press Incorporated.

Secretaría de Salubridad y Asistencia; 1982; Registros internos del Departamento de Epidemiología; San Luis Potosí, SLP.

Stretta, E. y del Arenal R.; 1960; Estudio para el abastecimiento de agua potable para la ciudad de San Luis Potosí; Instituto de Ciencias Aplicadas UNAM; México; p.32.

Tóth J; 1963; A theoretical analysis of groundwater in small drainage basins; Journal of Geophysical Research; 67(11); pp. 4375-4387.

Tóth J; 1995; Hydraulic continuity in large sedimentary basins; Hydrogeology Journal, Vol. 3; N° 4; pp.4-17.

Tóth, J; 2000; Las aguas subterráneas como agente geológico: causas, procesos y manifestaciones; Boletín Geológico y Minero; Instituto Geológico y Minero de España, Madrid; Vol. 111-4, pp. 9-26

Tristán GM. 1986; Estratigrafía y tectónica del graben de Villa de Reyes en los estados de San Luis Potosí y Guanajuato – México; Folleto Técnico N° 107; Instituto de Geología UASLP; p.91.

Universidad Autónoma de San Luis Potosí y Servicios de Salud del Estado de San Luis Potosí; 2004; Contaminación natural por flúor y arsénico en agua subterránea en México; Documento presentado al Senado; p. 15.

Valladares, L. y Coelho, M.P.; 2000; La investigación urbana en América Latina. Tendencias actuales y recomendaciones; en Gestión de las Transformaciones Sociales – MOST; Documentos de debate - N° 4, UNESCO.

Vargas, C; 1994; Los acuíferos de la cuenca de San Luis; IIZD, UASLP; Manejo integral de información química de aguas subterráneas; CIEP – Facultad de Ciencias Químicas UASLP, UNAM, Consejo Británico.

Villa de Mebius, R.H.; 1988; San Luis Potosí, una historia compartida; Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora; México, p.583.

Villalobos, C y Díaz de León, E; 1965; La presencia de nitrógeno de nitritos en las aguas freáticas de la ciudad de San Luis Potosí; IIZD UASLP; p. 7.

Villalobos, C y Díaz de León, E; 1965; El contenido de nitrógeno nítrico en las aguas disponibles de la ciudad de San Luis Potosí; IIZD, UASLP; p.5.

Ward, P.; 1990; Mexico City: the production and reproduction of an urban environment; London: Bethoven Press.

World Urbanization Prospects: the 1999 Revision; United Nations, Population Division; www.un.org/esa/population/pubsarchive/urbanization/urbanization.pdf;