

## ANÁLISIS DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE A NIVEL LOCAL: EL CASO DEL MUNICIPIO DE ECATEPEC, MÉXICO.

### DRINKING WATER SUPPLY SYSTEM ANALYSIS AT A LOCAL LEVEL: THE CASE OF THE MUNICIPALITY OF ECATEPEC, MEXICO.

Argelia Tiburcio Sánchez<sup>1</sup> y María Perevochtchikova<sup>2</sup>

#### Resumen

En este trabajo se presentan los resultados del análisis sistémico del sistema de abastecimiento de agua potable en el Municipio de Ecatepec, el cual forma parte de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, perteneciente al espacio natural denominado como la Cuenca de México. El municipio se caracteriza por una problemática compleja, debido al desarrollo urbano acelerado y al mismo tiempo poco planeado que se ha dado en los últimos 30 años. En el municipio se presenta una creciente tendencia en la construcción de unidades habitacionales que ha provocado múltiples problemas de carácter socio-económico y ambiental; entre los cuales destaca el rezago en el suministro del agua potable. En este trabajo se propone analizar la situación del suministro del agua potable en el municipio bajo la aplicación del marco teórico conceptual de sistemas complejos y de la Gestión Integral del Agua Urbana con la utilización de diferentes fuentes de información, como informes técnicos, bases de datos, mapas oficiales, artículos y libros. Para la realización del trabajo se aplicó el esquema del análisis sistémico el cual abarca una visión más integradora de diferentes factores (tanto físicos, como socio-económicos) que influyen en el proceso de la gestión de agua potable a nivel local, de un municipio. Para tal fin se definieron tres elementos como determinantes para el análisis del funcionamiento del sistema de abastecimiento: a) El entorno geográfico en el que se suscribe el municipio, a nivel regional y local; b) La dinámica demográfica a escala espacial y temporal; y c) La gestión del recurso hídrico a nivel local. Estos tres elementos se analizaron por medio de la combinación de las siguientes etapas a) Fase documental b) Fase de campo c) Fase de análisis; donde se sistematizó la información disponible, mediante el diseño de una base de datos y apoyo de SIG; se realizó el análisis de interrelaciones.

En particular, el desarrollo de la base de datos - el punto central del trabajo - se realizó en dos etapas: la primera de delimitación y compilación de la información, y la segunda fase que implicó el diseño, la elaboración y manejo de base de datos. La base de datos diseñada es compatible con el Sistema de Información Geográfica el cual permite obtener un panorama más completo sobre el proceso de la gestión del agua potable y puede servir de una herramienta práctica accesible en el proceso de planeación y toma de decisiones en materia del agua a nivel local.

**Palabras clave:** sistema de abastecimiento, agua potable, gestión integral, México, Ecatepec.

#### Abstract

In this work are presented the results of the systemic analysis of the drinking water supply system in the municipality of Ecatepec; that is part of the Mexico City Metropolitan Area and it belongs to the natural space denominated the Mexico basin. The municipality is characterized by a complex situation generated by a fast urban development and at the same time little planning for the last 30 years. In the municipality there is an increasing tendency in the settlement of residential units that has brought different kind of problems ranging from social, economical and environmental problems; among the main challenges of Ecatepec the provision of drinking water it is quite significant.

The case of drinking water in Ecatepec, illustrates many of the problems faced by most of the cities in developing countries, where water and sanitation infrastructure exists but it is often in poor condition. Water supply systems are frequently under funded, poorly managed and in a poor state of maintenance with high levels of water leakage. In addition meeting competing demands from domestic, commercial and industrial users puts great pressures on water systems whose capacity has been exceeded due to a steadily growing demand.

Using the complex system approach we adopt the urban water management framework to analyze the situation of drinking water supply system in Ecatepec based on the idea of integrality where it is recognized the importance of accounting with accurate knowledge about the natural ecosystem and at the same time propose a balanced between the three main targets of sustainable development: environment, human society and the economy. The system analysis has a more inclusive vision which covers different factors (both physical and socio-economic) that influence the process of managing water at local level of a municipality. To this end, we identified the following three elements considered as essential components in the analysis of drinking water supply system: a) The geographic surroundings at regional and local level, b) The

<sup>1</sup> Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios Sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Instituto Politécnico Nacional (CII-EMAD) - Calle 30 de Junio de 1520 s/n. Colonia Barrio la Laguna Ticomán, Delegación Gustavo A. Madero, CP 07340 México D.F. e-mail: argeliatiburcio@yahoo.com.mx

<sup>2</sup> Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales (CEDUA), El Colegio de México. e.mail mperevochtchikova@colmex.mx

demographic dynamics at spatial and temporal scale, and c) The water management at local level. We analyze these three elements using a combination of the following steps: a documentary phase; a field phase and an analysis phase; where it was systematized the available information, and it was designed a database compatible with the Geographical Information System and it also allows obtaining a more complete panorama of the water management process.

In particular, the development of the database - the heart of the work - was conducted in two stages: the first phase involved the definition and data compilation and the second phase covered the design, development and database management. The design of the database was accomplished in the following models) the model of relational databases was used to store and manipulate the information and b), the raster method was useful in processing maps and displaying spatial data. For this purpose the studied area was divided into rows and columns, which form a regular grid structure. Each cell within this matrix contains location co-ordinates as well as an attribute value and was used as a geographical unit. The use of this grid is useful for handling maps published at different scales and projections, whose conversion to a common scale in many cases it is difficult to achieve due to time and / or volume information. In this way the grid allows an easy standardization of data, which can be represented as layers of spatial information in geographic information systems (GIS), with attributes and specific indicators to be analyzed.

Once it was gathered the information the characteristics of each element studied were synthesized in order to have an integrated view of the problems of water management at local level in the municipality of Ecatepec. Among other indicators we selected the frequency distribution of drinking water in the municipality as an indicator to measure the efficiency of drinking water supply. It has been revealed a large number of people living under water stress conditions, more than half the population has a supply that fluctuates between 0 and 10 days a month, 25% with 11-20 days of service and only 22% with good service from 21 to 30 days. The results of the analysis on the selected components suggest that physical characteristics of the area, density of population and existing water infrastructure are key elements in the quality and quantity of drinking water supplied to the population in Ecatepec.

As final result, a data base was designed that it is compatible with the Geographical Information System, obtaining a more complete panorama of the water management process that might serve as a practical tool in the process of planning and decision making in the matter of water at a local level. In addition the database allows to visualize relationships between the different elements that compound the system; identifying problems and characteristics of the different areas in the municipality and generate change scenarios, allowing the proposal of strategies consistent with local needs. Although the database is limited in terms of information volume, the value of the study lies in being a first attempt of systemic analysis of drinking water with the presentation of results in a simple visual form, using the Geographic Information System. The database might serve as a practical tool in the process of planning and decision making in the matter of the water at a local level as it is easy to develop at a low cost.

**Key words:** supply system, potable water, integrated management, Mexico, Ecatepec.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad la humanidad enfrenta numerosos retos en materia ambiental relacionados con el gran impacto producido por la actividad antrópica a lo largo de su historia, el cual se ha acentuado desde la segunda mitad del siglo XX. En específico, el acceso a suficiente agua limpia se está convirtiendo, en muchas regiones del mundo, en un factor limitante para la salud humana, para la producción de alimentos, pero también para el mantenimiento de funcionamiento de los ecosistemas naturales, y hasta para la estabilidad social, el desarrollo económico y la seguridad nacional de los países. México no está ajeno a esta problemática, si se considera que la disponibilidad natural promedio nacional del agua de 4.312 m<sup>3</sup>/hab/año, es declarada como valor bajo por la Organización Mundial de Salud, que pone en peligro la calidad de vida de las personas (Conagua, 2008). Obviamente, el valor de la disponibilidad varía de una región de México a otra en función de las condiciones climáticas (con menores volúmenes al norte del país y mayores al sur-sureste), sin embargo, la tendencia común es hacia una disminución, más visible en las últimas décadas. Este proceso se relaciona en primera instancia con el uso excesivo e irracional del agua y el sistema de gestión existente, dirigida a la construcción de cada vez mayor infraestructura

hidráulica y preocupada por la búsqueda de fuentes externas de abastecimiento en lugar de conservar y preservar los recursos locales. También con la falta de una visión integral a largo plazo, falta de cooperación inter- e intra-institucional, de preparación profesional y de planeación participativa, lo que en consecuencia se ha reflejado en el deterioro ambiental (contaminación del agua, abatimiento de niveles freáticos, desaparición de escurrimientos superficiales, compactación y hundimiento del suelo, etc.) y en un efecto bumerán que está afectando a la sociedad misma.

En el caso de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) -una de las 20 megalópolis a nivel mundial y de las cuatro ubicadas en América Latina, con una población cercana a los 20 millones de habitantes- el suministro de agua potable para el uso urbano (en 80% doméstico) representa un reto de gran magnitud, dada la combinación compleja de las condiciones geográficas, socio-políticas y económicas en este territorio. Por un lado a nivel federal, la Región Norte, Centro y Noroeste de la República Mexicana, que incluye a la ZMCM, que cuenta con una disponibilidad natural del agua baja de 1.734 m<sup>3</sup>/hab/año (Conagua, 2008); a nivel regional, la Región Hidrológica Administrativa XIII del Valle de México, a la que pertenece la ZMCM,

está reportada como la región con el nivel más bajo de disponibilidad de agua del país con 123 m<sup>3</sup>/hab/año, además, cuyos acuíferos, fuente principal de abastecimiento se encuentran bajo un estado alto de sobreexplotación (Conagua, 2006); y a nivel local, la Cuenca del Valle de México cuenta con sólo 89 m<sup>3</sup>/hab/año, condiciones lo que se considera prácticamente dentro de la clasificación de escasez de agua. Por otro lado en esta metrópoli se concentra el 20% de la población del país, ocupando menos del 1% del territorio nacional, generando un 31% del Producto Interno Bruto (PIB).

En específico, el municipio de Ecatepec, ubicado al noreste de la ZMCM, cobra especial importancia al concentrar en su territorio cerca de 1.700.000 habitantes (9% de la población de la ZMCM), convirtiéndose en el segundo municipio más poblado del país (INEGI, 2005). El elevado número de habitantes en el municipio es producto de más de 30 años del desarrollo urbano acelerado y poco planeado, con una dinámica creciente y la construcción de unidades habitacionales que demandan cada vez mayores volúmenes de agua, ejerciendo una fuerte presión sobre las fuentes naturales del agua en el territorio; reflejándose en un rezago en el suministro del agua potable que se evidencia mediante el aumento en número de conflictos sociales (Tiburcio, 2008).

Cabe mencionar que sobre el estado y la gestión del recurso hídrico en la Cuenca del Valle de México se han realizado diversos estudios, sin embargo, estos se han abordado en su mayoría desde una sola perspectiva o bajo una caracterización sectorial, ya que prevalecen los análisis disciplinarios sobre algunos componentes, sean estos físicos o sociales, y por lo tanto se desconoce con frecuencia la interrelación de las variables involucradas en el proceso de gestión del agua y la naturaleza de las respuestas observadas. Desde los años 1970 dentro de la literatura científica se reconoce la importancia de contar con un conocimiento integral para la comprensión adecuada de la problemática ambiental y el manejo de recursos naturales, considerando al ser humano no como parte externa, sino como un componente directo del ecosistema común. Este enfoque asume como eje central al ecosistema, y al mismo tiempo articula de forma armónica las tres dimensiones del desarrollo sostenible: medio ambiente, sociedad y cuestiones económicas. Bajo esta visión el ecosistema es entendido en una perspectiva amplia de sistemas complejos, abiertos (García, 2006), vinculado al desarrollo humano, es decir como un sistema natural cuyos flujos energéticos e interacciones con el ser humano son determinantes en términos tanto de su conservación como de la calidad de vida de la gente (Guerrero *et al.*, 2006). A partir de estos cambios en la visión conceptual, en los años 1990 se da el proceso de formulación de los principios de la Gestión Integral de Recursos Hídricos (GIRH) que en actualidad han

cobrado importancia por permitir pensar y actuar eficiente y ecológicamente (Andrade, 2004).

De allí que el objetivo principal de este trabajo se concentró en determinar la interrelación de los componentes que forman parte indispensable para un análisis ecosistémico del sistema de abastecimiento de agua potable en el Municipio de Ecatepec: el entorno geográfico, la dinámica demográfica y el proceso de la gestión del agua; a fin de elaborar una propuesta metodológica que sirva como herramienta para la elaboración de planes, programas, proyectos y toma de decisiones en materia del agua a nivel local operativo.

## PROBLEMÁTICA LOCAL

El municipio de Ecatepec, ubicado al noroeste de la ZMCM (véase *Figura 1*), comparte sus límites al norte con los municipios de Coacalco de Berriozábal y Tecámac; al este con Acolman; al sur con Atenco y Nezahualcóyotl; y al oeste con el Distrito Federal y el municipio de Tlalnepantla de Baz. Cuenta con una superficie de 155 km<sup>2</sup>, extendiéndose en su mayoría sobre el lecho del antiguo lago de Texcoco, que formaba parte del sistema hidrológico de la Cuenca del Valle de México.

Referente a la situación del abastecimiento de agua potable, el caso de Ecatepec ejemplifica muchos de los problemas a los que se enfrentan las ciudades de países en desarrollo, las cuales se caracterizan por las malas condiciones de infraestructura hidráulica que origina grandes pérdidas de agua por fugas y cuyo sistema de suministro se encuentra carente de fondos suficientes y gestionados inadecuadamente, en el cual debe satisfacer las demandas en competencia de usuarios domésticos, comerciales e industriales cuya capacidad de suministro ha sido sobrepasada, debido a una demanda en constante crecimiento, por ser calculada en relación directa del aumento poblacional (ONU & WWAP, 2003).

En particular, el sistema de abastecimiento de Ecatepec no puede ofrecer a su población el suministro de un volumen adecuado de agua dentro de los estereotipos de la calidad de vida digna en un área urbana (las 24 horas al día todos los días al año), ya que las fuentes internas y/o cercanas al municipio de aguas superficiales están fuertemente contaminadas y los recursos subterráneos se han extraído de tal forma irracional y a un ritmo intenso que se han abatido los niveles freáticos, en consecuencia se disminuyó la disponibilidad natural del agua. Por lo cual se procedió con la búsqueda y construcción de obras hidráulicas para el trasvase de agua de otras regiones y cuencas que compiten por el recurso.

El origen del desabasto en el suministro de agua potable en el municipio también se debe en gran parte a que, como en muchas áreas urbanas, Ecatepec se desarrolló con escasa atención por parte del gobierno federal y local para garantizar un adecuado



Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.

suministro agua, así como un bajo control y falta de planeación del proceso de la expansión urbana; de tal modo que el acceso al agua se dio de manera caótica y mal gestionada, siendo el propio usuario quien construyera y buscara sus propias fuentes de abastecimiento (Espinosa, 2005). Por otra parte, el producto de la expansión urbana descontrolada, la zona fue invadida por las poblaciones irregulares en zonas de difícil acceso (como cerros y barrancas), donde la instalación de infraestructura se dificulta no sólo por el hecho de mayores costos de construcción y mantenimiento, sino por la legislación federal mexicana, en la cual se indica de la imposibilidad de proporcionar los servicios básicos (incluyendo el de agua potable) a las viviendas en condiciones de irregularidad.

Es interesante analizar los fenómenos que han dado lugar al proceso de crecimiento demográfico acelerado en el municipio de Ecatepec, reflejado en actualidad en tan elevado número de habitantes (INEGI, 2005a). Incluso se tienen referencias de la ocupación poblacional de este territorio desde las épocas prehispánicas (Núñez *et al.*, 1988). El municipio conservó por un largo periodo de tiempo características agrícolas con un predominio de la población rural. Sin embargo, en la década de los cuarenta esta situación se revirtió debido a la cercanía con la Ciudad de México que demandaba más áreas para la expansión urbana, proceso que produjo una intensa migración hacia la periferia. De este modo el crecimiento demográfico se dio primero de manera gradual y paulatina para después convertirse en un crecimiento acelerado e intenso. Es así que en el lapso del siglo pasado la población aumentó desde menos de 10.000 a cerca de 1.700.000 para el año 2005 (Ver Figura 2).

El patrón de ocupación territorial que se dio en Ecatepec fue básicamente horizontal y gran

consumidor de suelo, debido a las características topográficas del municipio que en un principio contaba con extensas planicies desocupadas fáciles de habitar. De acuerdo con Olvera (2002), este proceso de ocupación del suelo se ha caracterizado por ser irregular y desordenado tanto desde la perspectiva de la tenencia de la tierra, como de las decisiones de las autoridades de desarrollo urbano estatal y municipal, donde una vez agotadas los espacios apropiados para la urbanización se inició una proliferación de asentamientos en zonas de alto riesgo o sobre espacios naturales con restricciones ecológicas. Esta urbanización significó impactos ambientales al transformar el paisaje natural y contaminar el agua; modificando los padrones del ciclo hidrológico, impidiendo la infiltración del agua en el suelo urbano, así como la aceleración de flujos superficiales y el arrastre de materiales sedimentarios hacia la planicie.

Además del impacto ambiental, el aumento poblacional se tradujo en un incremento sin precedentes en el volumen de consumo de agua bajo un esquema de gestión del recurso hídrico orientado a la satisfacción de la demanda la cual es calculada en relación directa al crecimiento demográfico. Para esto se impulsó la perforación de más pozos y la extracción de agua subterránea a profundidades cada vez mayores, así como la construcción de obras hidráulicas de trasvase del agua de cuencas vecinas a altos costos ambientales, económicos y sociales (Perevochtchikova, en prensa). La escasez y el deterioro del recurso se ha agravado al punto que el gobierno y los organismos municipales se ven obligados a quitar el recurso por períodos determinados para compartir el caudal existente entre diferentes usos y usuarios. Las tensiones en la competencia del recurso entre éstos es causa de conflictos a varias escalas y a distinta intensidad, presentándose tanto entre una misma comunidad,

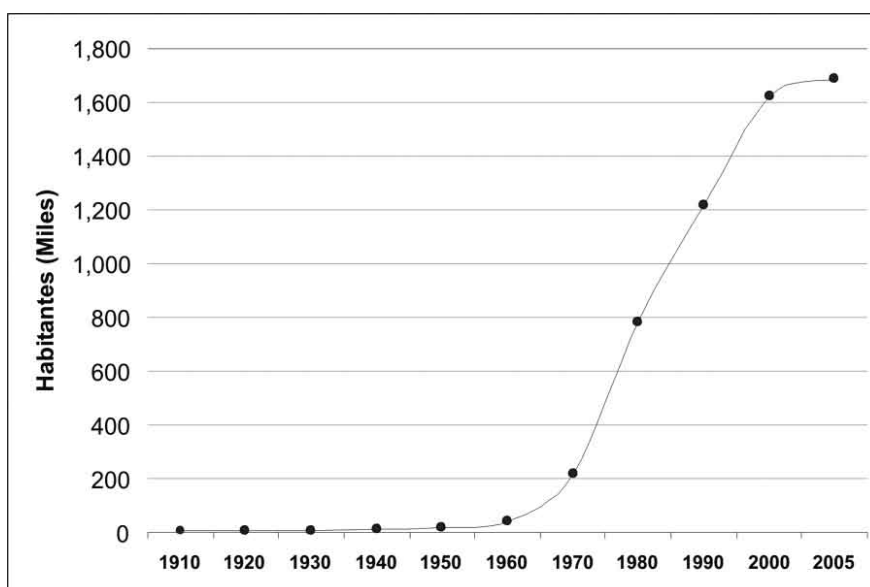


Figura 2. Crecimiento poblacional de Ecatepec, 1910-2005 (Fuente: INEGI, 2005 y 2005a).

como entre diferentes comunidades y municipios e incluso estados. Evidencia de los conflictos sociales ha sido documentada mediante notas de prensa en el trabajo de Tiburcio (2008), donde se identifican acciones que detonan tensión entre los actores, siendo las más frecuentes el surgimiento de movimientos de rechazo en contra las decisiones de las autoridades por reducir el suministro de agua a los usuarios, aumento de tarifas y conflictos entre los organismos gestores del agua.

### MARCO TEÓRICO

El estudio ha adoptado como marco teórico al enfoque ecosistémico y la gestión integral de los recursos naturales. Este último concepto comprende al ecosistema como base para el entendimiento y el análisis de transformaciones del ambiente y el ecosistema en sí, es visto como la articulación del sistema natural y el sistema sociocultural, en el cual todos los componentes están interrelacionados e interactúan mutuamente, abiertos a las intervenciones externas (Andrade, 2004). De aquí, para la realización de análisis ecosistémicos se requiere de conocimiento multidisciplinario para lograr entender las relaciones existentes a diferentes niveles tanto horizontales como verticales, y las interdependencias entre los elementos constitutivos del ecosistema dentro de la cadena "causa-efecto-consecuencia".

En el enfoque ecosistémico se reconoce a los ecosistemas como *sistemas complejos abiertos* (García 2006), donde la estructura del sistema está determinada por las inter-relaciones de los múltiples elementos que lo constituyen y de estos elementos con el mundo exterior. Se piensa que este concepto es fundamental y adecuado para el planteamiento y análisis ambiental, porque permite simular los procesos a distintos niveles de interacción y tiempos. El enfoque ecosistémico se puede definir como una

estrategia para la Gestión Integral de los Recursos Naturales (suelo, agua, biodiversidad) que promueve la conservación y el uso sostenible de una manera equitativa; colocando a la gente como parte de los ecosistemas, pero con poder de decisión en las tareas de gestión y protección ecológica (Guerrero *et al.*, 2006). Derivado de esta nueva concepción en el manejo de los recursos naturales, para el caso específico del agua ha surgido el concepto de la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH) y desde los principios del siglo XXI de la Gestión Integral del Agua Urbana (GIAU). El concepto de GIRH es definido como un proceso que promueve el desarrollo coordinado y la gestión de agua, suelo y recursos relacionados para maximizar el resultado económico y el bienestar social de una manera equitativa, sin comprometer la sustentabilidad de ecosistemas vitales (GWP y TAC, 2000).

Considerando que la zona de estudio es un área urbana se piensa pertinente tener en cuenta el concepto de la GIAU en este trabajo. El último se deriva de la GIRH y se fundamenta en la premisa de que los servicios centralizados de agua en una ciudad entran en conflicto con el funcionamiento físico natural del ciclo hidrológico de una cuenca hidrográfica (Mitchell, 2006). Como propuesta de solución a este conflicto la GIAU integra bajo los términos de sustentabilidad a todos los principales servicios del agua en una ciudad: suministro de agua potable, saneamiento y alcantarillado dentro del balance general del agua (Perevochtchikova & Martínez, 2009). El paradigma de la GIAU se concentra básicamente en el manejo del agua por disponibilidad (y no por la demanda), utilización de recursos hídricos en forma alternativa (ecológicamente eficiente) y descentralización del proceso de la administración. Niemczynowicz (1999) observa también que la gestión integral del agua en las zonas urbanas involucra políticas de uso del suelo, planeación del paisaje y de la ciudad,

de ordenamiento territorial, procesos del desarrollo económico, construcción, regulación y legislación, educación, conciencia ciudadana e integración de la sociedad en el manejo participativo del agua.

## METODOLOGÍA

Para la realización del trabajo se aplicó el esquema del análisis sistémico el cual abarca una visión más integradora de diferentes factores (tanto físicos, como socio-económicos) que influyen en el proceso de la gestión de agua potable a nivel local, de un municipio. Para tal fin se definieron tres elementos como determinantes para el análisis del funcionamiento del sistema de abastecimiento: a) El entorno geográfico en el que se suscribe el municipio, a nivel regional y local; b) La dinámica demográfica a escala espacial y temporal; y c) La gestión del recurso hídrico a nivel local.

Para el desarrollo de los objetivos de la investigación, se analizaron los tres elementos determinados por medio de combinación de las siguientes etapas:

- Fase documental: donde se elaboraron el marco físico y el marco demográfico con base en una revisión de la bibliografía disponible; se utilizaron mapas con diferente escala y periodo, imágenes satelitales, bases de datos hidrometeorológicos y coberturas de Sistemas de Información Geográfica (SIG); definiéndose una sección hidrogeológica transversal del municipio.
- Trabajo de campo: donde se realizó el reconocimiento visual del área a estudiar a lo largo de la sección antes establecida, en la cual se verificaron distintos elementos del terreno (uso del suelo, vegetación, litología, tipo del suelo, existencia de las fuentes de agua); se realizaron pláticas y entrevistas con informantes clave del municipio.
- Fase de análisis: donde se sistematizó la información disponible, mediante el diseño de una base de datos y apoyo de SIG; se realizó el análisis de interrelaciones.

En particular, el desarrollo de la base de datos - el punto central del trabajo - se realizó en dos etapas: la primera de delimitación y compilación de la información, y la segunda fase que implicó el diseño, la elaboración y manejo de base de datos. El diseño fue con base en el modelo de bases de datos relacionales para determinar la forma de almacenamiento y consulta de la información desplegada de los mapas y planos. Como la información asequible ha sido muy heterogénea en referente a los periodos, escalas y formatos diferentes, de esta manera se logró representar e integrar los datos de los tres elementos en el espacio para poder establecer interrelaciones. Con base en los criterios de representación del modelo Raster se trabajó con los mapas y planos trazando sobre estos una matriz de celdas, a la cual se le

denominó *cuadrícula*, donde cada celdilla conforma una sección del territorio del municipio denominada unidad geográfica. La cuadrícula trazada para cada uno de los planos consta de diez columnas y once filas, que en conjunto consta de 110 celdas de tamaño igual, cubriendo un área de cerca de 8 mil m<sup>2</sup>. El uso de esta cuadrícula resulta útil para manejar mapas editados a distintas escalas y proyecciones, cuya conversión a una escala común en muchos casos es difícil de realizar por cuestiones de tiempo o por el volumen de información manejado. De esta manera la cuadrícula posibilita una homogeneización sencilla de los datos, que pueden ser representados como capas de información espacial en sistemas de información geográfica (SIG), con atributos e indicadores específicos a analizar.

## RESULTADOS

### Entorno geográfico

En este apartado se analizó el régimen hidrogeológico de la zona de estudio, basándose en la teoría de sistemas de flujo de agua subterránea, desde una perspectiva temporal y espacial, de regional a local (Toth, 1999). Este acercamiento permitió comprender el funcionamiento físico del ciclo hidrológico de manera más integral, abarcando la interrelación entre las aguas superficial y subterránea y muchos otros factores geográficos presentes en la superficie (como vegetación, tipo del suelo, formas de relieve, manantiales, etc.), incluyendo los componentes antrópicos. Se encontró particularmente que la zona de la Sierra de Guadalupe funciona como zona de recarga para los flujos de naturaleza local (agua de calidad semejante a la de lluvia); el escurrimiento superficial de origen pluvial forma un drenaje radial descendiendo de la sierra y se descarga en la planicie urbanizada, generando graves problemas de inundación y azolves de cauces en época de lluvias (véase *Figura 3*). Por otra parte, Ortega & Farvolden (1989) consideran toda el área del antiguo lago de Texcoco, de la que el municipio forma parte, como la principal área de descarga de flujos intermedios del agua subterránea de la Cuenca del Valle de México, lo que sin embargo, ha ido cambiando con el tiempo por la extracción excesiva del agua en la cuenca y, finalmente, desconectando el acuitardo (formado por material aluvial de relleno del antiguo lago) del acuífero somero (Angeles *et al.*, 2008).

Se resalta el hecho de que las fuentes naturales de suministro de agua se limitan a los acuíferos, debido principalmente al desecamiento de los lagos y a la fuerte contaminación de los ríos y arroyos existentes, los cuales sirven de desalojo de aguas residuales del Distrito Federal, por ejemplo El Gran Canal, el Canal de Sales y el Río de los Remedios. Según datos de la CONAGUA (2006), el Río de los Remedios mezcla sus aguas con las del Gran Canal -desagüe de agua residual - en un distribuidor de agua, a partir del

cual, el Gran Canal continúa hacia el norte y el río de los Remedios hacia el oriente (véase *Figura 4*). En realidad estos arroyos intermitentes funcionan como colectores y presentan un alto grado de contaminación debido a que sus aguas fluyen por zonas habitacionales e industriales donde su calidad

se deteriora paulatinamente en virtud de numerosas descargas de aguas residuales que se incorporan en su trayecto. Mazary & Mackay (1993) reportaron la existencia de concentraciones importantes de sustancias tóxicas nocivas, como metales pesados, solventes, ácidos, grasas y aceites, entre otros.

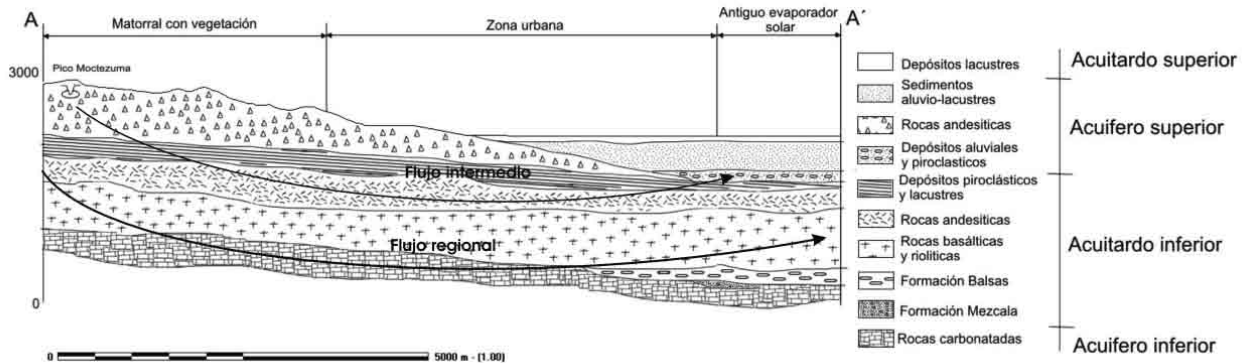


Figura 3. Sección hidrogeológica del municipio de Ecatepec.

El territorio del municipio corresponde en diferente proporción espacial a tres acuíferos: i) de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, ii) de Cuautitlán Pachuca y iii) de Texcoco (véase *Figura 4*). Los tres acuíferos se encuentran bajo un grado muy alto de

presión al recurso hídrico, caracterizado por estado de sobre-explotación de acuerdo con información de la CONAGUA (2006) e INEGI (2007), como se muestra en la *Tabla 1*.

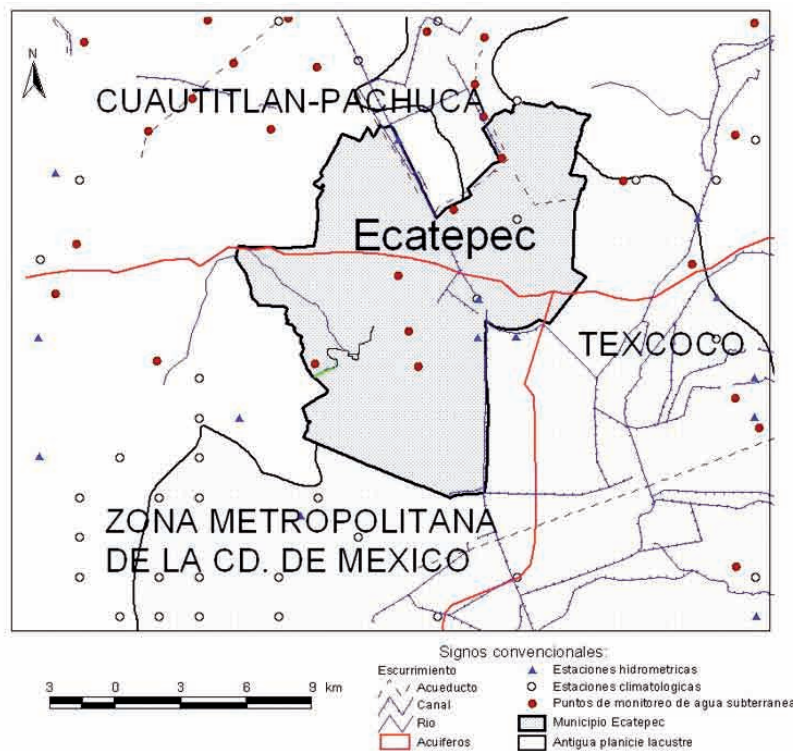


Figura 4. Síntesis de la información hidrológica del municipio de Ecatepec

**Tabla 1. Grado de presión de los acuíferos en el Municipio de Ecatepec (Fuente: INEGI, 2007)**

Acuífero	Territorio del municipio, %	Recarga, Mm <sup>3</sup> /año	Extracción, Mm <sup>3</sup> /año	Grado de presión, %
ZMCM	65	279	507	180
Cuautitlán Pachuca	32	203	483	238
Texcoco	3	48,6	465	957

Cabe destacar que las características geográficas del territorio de Ecatepec, determinan en mucho la forma de distribución de la población y también de la localización de las fuentes de extracción de agua potable; lo que afecta de manera directa, aunque no exclusiva, la calidad del servicio y en específico la frecuencia con que se recibe el líquido en las diferentes colonias del municipio, observándose los siguientes puntos de interrelación, que se presentan a continuación.

*Inclinación del terreno.* Comparando la cuadrícula del grado de pendiente del terreno con el promedio de días de suministro del agua potable, se observa que las zonas con mayor inclinación (ubicadas al oeste y noreste del municipio) son las que menos días en promedio reciben el líquido al presentar las mayores dificultades para la introducción de infraestructura hidráulica. También resalta que frecuentemente se trata de colonias de ocupación irregular, cuyo establecimiento se remonta a la invasión de áreas naturales protegidas, que se liga a otro factor importante, la falta de planeación urbana. Por otra parte, al hacer la comparación entre el grado de pendiente con la distribución de la población, se observa que las zonas planas seguidas por semiplanas son las que cuentan con un mayor número de habitantes al ofrecer mayor facilidad en la construcción de la vivienda e implementación de la infraestructura, que luego resulta insuficiente ante la demanda existente del agua que se genera a causa de gran crecimiento poblacional y residencial en el municipio, resultando en un bajo número de días promedio con suministro de agua.

*Localización de las fuentes de extracción de agua potable.* Tanto para el agua en bloque (fuente externa), como para el agua proveniente de los pozos profundos (fuente interna en su mayoría), la localización de estas fuentes juega papel determinante en la frecuencia con que se suministra el agua a las distintas colonias. En el análisis de la producción de los pozos se observa que la zona norte del municipio cuenta con un volumen de producción (caudal de extracción) de agua más elevado que en otras partes y en consecuencia el número de días promedio al mes de suministro del agua alcanza los 30 días. En contrario de las zonas que no cuentan con el sistema de extracción del agua subterránea por pozos, es donde los días de suministro de agua se reducen considerablemente. En este aspecto se

observa que las zonas altas al fungir como áreas de recarga no cuentan con los cuerpos de agua susceptibles de ser explotados, contrario a las zonas más bajas (zonas de descarga) donde se localizan los pozos más productivos.

### Dinámica demográfica

Para analizar la dinámica demográfica, se realizó primero una revisión de la situación a nivel regional, en un plano general e histórico para el territorio de toda la Cuenca del Valle de México y luego se procedió al local, con un análisis más detallado para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) y el municipio. Este acercamiento permitió identificar los procesos de urbanización que ocasionaron el crecimiento exponencial de la población del municipio, así como su distribución espacial. En particular, el crecimiento demográfico del municipio se puede explicar en relación a dos fenómenos: i) de migración originada en los años cuarenta hacia la Ciudad de México, y ii) la expansión física de la ciudad, donde los asentamientos humanos se iban incorporando al área urbana. Los factores que originaron estos fenómenos son los siguientes.

*Disponibilidad de tierras.* El municipio de Ecatepec con una superficie de 155 km<sup>2</sup> representaba en los años setenta el sexto municipio con mayor porción de territorio en la zona metropolitana, que en su gran parte ocupaba la antigua planicie lacustre, ofreciendo ventajas espaciales para el proceso de urbanización que se dio en estas últimas décadas, principalmente porque sus tierras no eran aptas para el cultivo, por lo que no existía una competencia por el uso de suelo (Espinoza, 2005).

*Costo de las tierras.* El costo de las tierras en el municipio ha sido significativamente más económico con respecto a éste en el Distrito Federal (DF), razón por la cual la población de los estratos más bajos que buscaba una vivienda en/cerca del DF, optaba por irse a Ecatepec. El costo bajo de las tierras en Ecatepec se debe en parte a que en el municipio ha predominado la falta de establecimiento de servicios básicos, como agua y luz; pero sobre todo a la mínima calidad productiva del suelo. Aunando a esto las condiciones del riesgo asumido por las constantes inundaciones en la planicie urbana y derrumbes en las faldas de la Sierra de Guadalupe.



**Las vías de comunicación.** A lo largo del municipio se construyeron dos vías de comunicación importante, en especial por las cuales se tiene contacto entre el DF y la ciudad de Pachuca, siendo estas vías los principales motores para el establecimiento de la industria y desarrollo urbano, como corredores urbanos. Por ejemplo, a partir de la construcción de la zona industrial de Xalostoc surgieron industrias que se distribuyeron a lo largo de la antigua carretera a Pachuca y de las vías del ferrocarril México-Veracruz, ofreciendo así nuevas oportunidades de trabajo para la población.

La densidad de población es otro factor que determina de manera significativa la calidad del servicio de agua potable. Se observa, por ejemplo, que de las 12 unidades geográficas de la cuadrícula que cuentan con población mayor a 50,000 habitantes, el número de días promedio que reciben el servicio es de 9, y asciende a 17 en las categorías consideradas como de alta, media y baja densidad de población. El hecho que el promedio del suministro no aumente progresivamente a medida que desciende el tamaño de la población por unidad geográfica puede explicarse a partir de que estas unidades geográficas se encuentran en zonas donde la pendiente es muy pronunciada y frecuentemente son lotes que se han urbanizado de manera irregular, por lo que no existe infraestructura hidráulica apropiada.

### **El sistema de abastecimiento de agua potable**

Para analizar el sistema de abastecimiento se realizó una revisión de las fuentes de abastecimiento de agua potable y de las funciones que desempeñan las diversas instituciones relacionadas con la gestión del agua en el municipio. Hay que comentar que, de acuerdo con el artículo 115 de la Constitución Mexicana, la responsabilidad operativa de prestar los servicios de agua potable, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales recae a nivel municipal. Para el caso del municipio de Ecatepec la prestación de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento se realiza a través del Organismo Operador descentralizado de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), denominado como Sistema de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Ecatepec de Morelos (SAPASE), el cual atiende al 92% de la población. El restante 8% es atendido por organismos independientes cuya administración corre a cargo de los pueblos originarios de la zona.

En este trabajo se consideran como fuentes de abastecimiento del agua potable a aquellos cuerpos de agua superficial y/o acuíferos, susceptibles de ser explotados para el consumo humano, y que para el caso del municipio de Ecatepec están conformados por los siguientes elementos: 1) los pozos profundos operados por SAPASE; 2) los acueductos Los Reyes-Ecatepec y el acueducto Chiconautla; y 3) el Sistema Lerma-Cutzamala. Los tres últimos considerados como agua en bloque la cual es administrada por

la CONAGUA, Comisión de Aguas del Estado de México (CAEM) y el Sistema de Agua de la Ciudad de México (SACM), véase *Tabla 2*.

De la *Tabla 2* se observa como fuente principal de abastecimiento a los pozos profundos administrados directamente por el SAPASE, los cuales producen un caudal de 2.889 l/s, mientras que el agua en bloque representa un 34,3% con un caudal de 1.819 l/s. Sin embargo, si se toma en cuenta que del total volumen del agua en bloque sólo 1.003 l/s son aportados por el Sistema Lerma-Cutzamala, el volumen de agua que proviene de localidades externas al municipio disminuye a un 15,4% del total, ya que el Ramal Los Reyes-Ecatepec y el Acueducto Chiconautla obtienen el agua de los pozos ubicados en el mismo municipio.

A pesar de que no pudo obtenerse información abundante respecto al estado de la infraestructura hidráulica, se observó, que por la red existente se tiene una relación proporcional entre el estado de la infraestructura hidráulica y la frecuencia en el suministro de agua potable, como un elemento que también ha determinado de manera importante la eficiencia en el suministro del agua a la población. De acuerdo con SAPASE (2007a), el municipio cuenta con un red primaria de 2,5 km y secundaria de 2,5 km, la mayor parte de la cual se localiza en la llamada Zona Quinta del Municipio, - la zona más grande y poblada de Ecatepec. Sin embargo, esta infraestructura se encuentra en muy mal estado físico, debido a que fue construida con materiales que no resisten los efectos de la compactación y del hundimiento del suelo relacionado con la extracción excesiva del agua subterránea, fenómeno muy común en la región. Por otro lado, cuando se introdujo la red de agua potable, no se tenía contemplado un número tan grande de conexiones y el diámetro de la tubería que se utilizó en el momento de construcción, ahora resulta insuficiente para la demanda del agua actual.

### **Uso de indicadores**

Una vez estudiados los elementos determinados de manera sectorial, el siguiente paso consistió en el análisis integral de éstos mediante el uso de indicadores de gestión del agua. Se recurrió a estos indicadores con el propósito de: a) simplificar y sintetizar propiedades observadas importantes; b) permitir visualizar espacial y temporalmente fenómenos de interés; c) cuantificar y comunicar de manera simplificada la información relevante (Gallopín, 1997).

Los indicadores utilizados sirven como pautas de evaluación y tienen en base los definidos por la **International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities (IBNET, 2004)** que analiza los temas relacionados con el desempeño operativo y financiero de las organizaciones responsables de gestión.

**Tabla 2. Fuentes de abastecimiento de agua potable de Ecatepec  
(Fuentes: SAPASE, 2007a y CONAGUA, 2005)**

Fuente	Organismo que administra el agua	Infraestructura	Caudal suministrado		
			l/s	%	Suma, %
INTERNA	SAPASE	Pozos profundos	2.889,00	54,40%	65.70%
	Organismos Independientes	Pozos profundos	600,00	11,30%	
EXTERNA	CAEM, CONAGUA	Sistema Lerma-Cutzamala	1.003,40	18,90%	34.30%
	SACM	Acueducto Chiconautla	619,20	11,70%	
	CAEM	Ramal Los Reyes-Ecatepec	196,40	3,70%	
Total			5.308,00	100%	100%

En tanto que para los indicadores relativos a la sustentabilidad del manejo del recurso hídrico se consideraron algunos establecidos por Morrison *et al.* (2001). En la *Tabla 3* se presentan los indicadores analizados. Cabe mencionar que estos indicadores no forman parte del listado completo propuesto por la IBNET, ni por Morrison *et al.* (2001), sino únicamente

se eligieron aquellos de los que se obtuvo información suficiente. A partir del análisis de estos indicadores se puede contar con un panorama más integral sobre la eficiencia operativa del sistema de abastecimiento al medirse elementos clave en el funcionamiento del sistema, como son la cobertura de agua, el volumen de agua asignado en promedio por habitante, las pérdidas por fugas y el volumen de agua importada.

**Tabla 3. Indicadores analizados (Fuentes: INEGI, 2000; SAPASE, 2007a, 2007b).**

Indicador	Unidad	Valores	Concepto	Año
a) Cobertura de agua potable	Número de viviendas con servicio de agua potable, % del total	95,55%	Viviendas con acceso al servicio de agua potable (con conexión directa o con acceso a un puesto público de agua)	2000
b) Dotación promedio por habitante	Litros/ persona/ día	226,81 l/per/ día	Volumen promedio de agua suministrada para uso doméstico por persona al año	2007
c) Calidad del servicio	% de conexiones	9,59%	Porcentaje de reclamos del total de conexiones registradas	2007
d) Quejas en el servicio de agua potable	Reclamos al año	33.448	Número de quejas recibidas anualmente	2007
e) Pérdidas por fugas	% del total	40%	Porcentaje estimado del volumen de agua que se pierde por fugas	2007
f) Volumen de agua importada	% de agua importada	18,90%	Porcentaje del volumen del agua total que proviene de fuentes externas	2007

De la *Tabla 3* se observa que al parecer en general, la cobertura del agua potable es buena, con instalaciones de infraestructura en más del 96% de las viviendas. El volumen disponible promedio es aceptable con más de 200 litros por persona al día y un porcentaje relativamente bajo de reclamos respecto al número total de usuarios registrados. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que, como lo indica en su trabajo Bertrand-Krajewsky *et al.* (2000),

existe la posibilidad de tomar decisiones basadas en información muy limitada o no representativa dado que, por ejemplo para el caso de los indicadores de porcentaje de pérdidas por fugas - son producto de estimaciones más que de mediciones precisas. En este punto cabe destacar que se identificaron algunas de las restricciones determinadas por la UNEP (1999) en la evaluación de indicadores: limitaciones en los recursos, personal y equipo;

falta de sistemas de compilación; falta de datos básicos o de estadísticas en términos de calidad y cantidad; diferentes/imprecisas definiciones de los parámetros medidos que conllevan el riesgo de una mala interpretación; llenado de vacíos usando varias estimaciones en lugar de datos reales que originan errores en la interpretación. Estas limitantes reducen de manera considerable la capacidad de evaluación del estado la gestión del agua, así como de la eficiencia operativa de los organismos operadores.

Con base en el análisis de las cuadrículas se determinó la frecuencia en la distribución de agua potable en el municipio como criterio de evaluación de la eficiencia del sistema de abastecimiento de agua potable. Al respecto se pudo observar un elevado número de habitantes que viven bajo las condiciones de estrés hídrico: más de la mitad de la población cuenta con el suministro que fluctúa entre 0 y 10 días al mes; 25% con 11-20 días del servicio y sólo 22% con buen servicio de 21 a 30 días. Además, se demuestra que la conjunción de los factores seleccionados tiene una influencia y relación decisiva en la eficiencia del sistema de abastecimiento de agua potable, siendo los más importantes las características físicas, el tamaño de la población y el estado actual de la infraestructura hidráulica. Como resultado de estos factores, también se observa la existencia de múltiples y variados problemas ambientales y socio-económicos a los que se enfrenta la población de Ecatepec; Ejemplo de estos problemas es la sobrecarga de las infraestructuras de agua y saneamiento, la sobreexplotación de acuíferos, y el descenso en los niveles de agua. El deterioro del abastecimiento de agua y saneamiento ha llevado a un empeoramiento progresivo en las condiciones de vida de la población, restricciones de agua, contaminación y deficientes condiciones sanitarias de agua.

## CONCLUSIONES

Con la información recopilada de los tres elementos de estudio se logró sintetizar las características de cada uno de ellos de tal manera que se pudo contar con una visión integrada de la problemática de la gestión del agua a nivel local, del municipio de Ecatepec. Del análisis de estos elementos se puede concluir que las características físicas del terreno, la densidad de la población y la infraestructura hidráulica existente son los elementos que determinan de manera importante la calidad y cantidad del servicio de agua potable proporcionado a la población. Sin embargo, la variedad y magnitud de los problemas a los que actualmente se enfrenta el sistema de abastecimiento de agua potable en el municipio se debe principalmente a la falta de organización y planeación adecuada, a la constante irregularidad en la gestión de los recursos financieros, donde la práctica constante ha sido la puesta en marcha de proyectos estructurales (de construcción) que resuelven únicamente los problemas inmediatos

sin una visión a largo plazo de las necesidades de la población y que garanticen la autosuficiencia en términos de abastecimiento de agua,

La disponibilidad del recurso en el municipio se encuentra en un estado de continua disminución y deterioro, extremadamente vulnerable a los procesos de extracción excesiva y contaminación del agua. Dentro del organismo operador SAPASE es evidente la falta de sistematización de la información producida, lo que no permite conocer aspectos fundamentales del funcionamiento operativo y financiero del organismo y mucho menos conocer el comportamiento de los cuerpos de agua explotados. Lograr que el sistema de abastecimiento de agua potable, salga de la ineficiencia económica, operativa y ambiental, sólo puede ser afrontado mediante el entendimiento de la complejidad con la que se vive. Por otra parte se hace evidente la falta de programas encaminados a una necesaria y urgente disminución del desperdicio de agua. Se percibe una actitud general de agotar las fuentes de agua para después buscar nuevas opciones, antes que procurar la explotación y el uso sustentable, todo esto producto de la política hídrica implementada hasta la actualidad dirigida a la satisfacción de la creciente demanda de agua.

La base de datos desarrollada representa una herramienta que puede ser utilizada en el proceso de la gestión del recurso hídrico en un área urbana, demostrando que facilita la comprensión de un sistema complejo, como lo es el sistema de abastecimiento de agua potable y visualizando relaciones entre los diferentes elementos que lo conforman. Permite identificar los problemas, las características más relevantes de cada zona del municipio y generar los escenarios de cambio, posibilitando de esta forma proponer estrategias acorde con las necesidades locales. Se reconoce que la base de datos es limitada en cuanto al volumen de información (por la falta de datos y/o acceso a éstos dentro del organismo operador); sin embargo, se tiene la certeza en que el valor de la investigación realizada radica en un precedente del análisis sistémico del sistema de abastecimiento de agua potable con la presentación de los resultados en forma visual bastante sencilla, utilizando el Sistema de Información Geográfica. Lo que en caso de ser adoptado y aplicado a nivel operativo en municipios, puede servir como herramienta práctica accesible, auxiliando el proceso de la planeación y toma de decisiones en materia hídrica.

## REFERENCIAS

- Andrade Pérez, A. 2004. Lineamientos para la aplicación del enfoque ecosistémico a la gestión integral del recurso hídrico. PNUMA, México, 108 p.
- Ángeles Serrano G., Perevochtchikova, M. & Carrillo Rivera, J.J. 2008. Posibles controles hidrogeológicos de impacto ambiental por la extracción de agua subterránea en Xochimilco, México. *Journal of Latin American Geography* Vol 7, n°1, pp. 39-56.

- Bertrand-Krajewski, J.L., Barraud, S. & Chocat, B. 2000. Need for improved methodologies and measurements for sustainable management of urban water system. *Environmental Impact Assessment Review*, Vol 20, pp. 323-331.
- CONAGUA. 2005. Estadísticas del Agua 2005 de la Región XIII, Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala. Comisión Nacional del Agua, México, 104p.
- CONAGUA. 2006. Estadísticas del agua en México, 2006. Comisión Nacional del Agua, México, 198p.
- CONAGUA. 2008. Estadísticas del agua en México, Edición 2008. Conagua, México, 228p.
- Espinosa, M. 2005. Viejas y nuevas geografías en el ex-vaso de Texcoco, México. *Investigaciones Geográficas*, Vol 57, pp. 95 -113.
- Gallopín, J.C. 1997. Indicators and their use: Information for decision making, pp. 13-27.
- In Moldan B. and S. Billharz (eds.). *Sustainable Indicators*. John Riley & Sons, Chichester, England.
- García, R. 2006. *Sistemas complejos: Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Gedisa, Barcelona España, 200 p.
- Guerrero, E., De Keizer, O. & Córdoba, R. 2006. La aplicación del enfoque ecosistémico en la gestión de los recursos hídricos. UICN, Quito, Ecuador, 78 p.
- Global Water Partnership y Technical Advisory Committee (GWP y TAC). 2000. *Manejo integrado de recursos hídricos*. Global Water Partnership, Estocolmo Suecia, 80 p.
- Internacional Benchmarking Network (IBNET), 2004. IBNET Indicator Definitions. 13/11/2007. [http://www.ib-net.org/en/texts.php?folder\\_id=117&mat\\_id=97&L=1&S=3&ss=4](http://www.ib-net.org/en/texts.php?folder_id=117&mat_id=97&L=1&S=3&ss=4)
- INEGI. 2000. *Síntesis Geográfica del Estado de México*. INEGI, México.
- INEGI. 2005. *Conteo de población y vivienda 2005*. INEGI, México.
- INEGI. 2005a. *Cuaderno estadístico municipal de Ecatepec*. INEGI, México.
- INEGI. 2007. *Carta hidrológica de aguas superficiales y subterráneas*. E14-2, Ciudad de México, escala 1:250,000, formato digital.
- Mazari, M. & Mackay, D.M. 1993. Potential for groundwater contamination in Mexico City. *Environmental Science Technology*, Vol 27, pp. 794-802.
- Mitchell, V.G. 2006. Applying Integrated Urban Water Management Concepts: A Review of Australian Experience. *Environmental Management*, Vol 37 (5), pp. 589-605.
- Morrison, G., Fatoki, O., Zinn, E. & Jacobson, D. 2001. Sustainable development indicators for urban water systems: A case study evaluation of King Williams Town, South Africa, and the applied indicators. *Water SA*, Vol 27 (2), pp. 219-232.
- Niemczynowicz, J. 1999. Urban hydrology and water management: present and future challenges. *Urban Water*, Vol. 1, pp. 1-14.
- Núñez, C., Rodríguez, J.L., Rodríguez, R., Vallejo, V. & Ortega, L. 1988. Municipio de Ecatepec de Morelos. En *Atlas de la ciudad de México*, Ed. Plaza y Valdés, México, 424 p.
- Ortega, A. & Farvolden, R.. 1989. Computer analysis of regional groundwater flow and boundary conditions in the basin of Mexico. *Journal of Hydrology*, Vol 110, pp. 271-294.
- Olvera, J.M. 2002. Algunas consideraciones sobre crecimiento urbano y dominio pleno de parcelas ejidales en la región Valle de Cuautitlán, Estado de México. *Estudios Agrarios*, Vol 8 (21), pp. 182 -210.
- ONU & WWAP. 2003. *1er Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. El mundo: agua para todos, agua para la vida*. París, Nueva York y Oxford. UNESCO y Berghahn Books.
- Perevochtchikova, M. en prensa. La problemática del agua en México: revisión de la situación actual en una perspectiva ambiental. *Medio Ambiente Hoy. El Colegio de México*, México.
- Perevochtchikova, M. & Martínez., S.. 2009. Integrated urban water management: concepts, tools and applications. *Environmental quality in the large cities and industrial zones: problems and management*. RSHU, Russia.
- Tóth, J. 1999. Groundwater as a geologic agent: An overview of the causes, processes, and manifestations. *Hydrogeology Journal*, Vol 7(1), pp. 1-14.
- SAPASE. 2007a. OFICIO, DG/GOM/OF, 1199/07. Información referente a la Infraestructura en operación de SAPASE, Fuentes de abastecimiento de agua, Localización de los pozos administrados por SAPASE, Documento interno SAPASE.
- SAPASE. 2007b. OFICIO, DG/GOM/OF.1627/07. Información referente al volumen de aportación de las fuentes de abastecimiento de agua, Colonias abastecidas mediante pipas, Colonias sin suministro de agua y relación de sistemas independientes, Documento interno SAPASE.
- Tiburcio, A. 2008. *Análisis integral del sistema de abastecimiento de agua potable en el municipio de Ecatepec*. Tesis de Maestría, CIEMAD-IPN, Ciudad de México, 225 p.
- UNEP. 1999. *Global Environmental Outlook 2000*. United Nations Environment Program, London, Earthscan Publications, 398p.