

Base de datos geográfica de agua superficial en la cuenca Lerma-Chapala

Ben-Hur Ruiz Morelos

Jaime Rivera

Carlos Patiño

Ángeles Suárez

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA

Paseo Cuauhnáhuac 8532 Col. Progreso, Jiutepec, Morelos, México, C.P. 62550

Teléfono (777) 3293600 ext.: 807

{ben_morelos; jrivera; carlos_patino; msuarez} @tlaloc.imta.mx

ABSTRACT. The Lerma-Chapala basin is a strategic region in Mexico for its proximity with two of the nation's largest cities: Mexico City and Guadalajara. Water problems in the basin are related with the increasing water demand, overexploitation of water resource and environmental degradation, as a consequence of the processes for the urban and economic development. A fundamental part of Hydrology is to collect and analyze observed data, it is essential that these basic data are available and consistent. In the Lerma-Chapala region there are several sources of information about climatological and hydrometric variables that have inconsistencies when compared with each other, causing uncertainty and distrust in the management of data. To reduce some problems associated with historical records in the basin, it was proposed to build a geographic database (geodatabase) of water surface with the structure of ArcHydro data model, developed at the University of Austin, Texas, and adapted to local conditions by the Mexican Institute of Water Technology (IMTA). The model is a standard structure for storing time series and geospatial data associated with hydrological variables, and offers the advantages of having centralized information and connected with each other using a geographic information system (GIS). Geodatabase stores vector data representing land surface features such as river network, water bodies, watersheds, urban areas, monitoring points, among others, also contains daily and monthly data about rainfall and runoff (historical and reconstructed) respectively, recorded in climatological and hydrometric stations. This paper describes the methodology to implement a geodatabase in a GIS, as a useful tool to support the administration and management of data related to water resource.

Keywords: Geographic information system, geodatabase, ArcHydro data model, water resource, watershed.

1. Introducción. La gestión del agua a nivel regional requiere un sistema de información confiable con el fin de proveer de datos a los diferentes usuarios y apoyar en la toma de decisiones relacionadas con dicho recurso. La competencia entre los usuarios para acceder a los recursos naturales y la necesidad de conservar el equilibrio de los ecosistemas naturales al interior de una cuenca, puede generar conflictos que deriven en problemas de gobernabilidad de la región. Por esta razón, en la medida que se logre compatibilizar los intereses de los habitantes y sus actividades productivas, la cuenca puede ser una unidad adecuada para realizar la gestión ambiental (INE, 2012).

Los sistemas de información geográfica (SIG) son utilizados ampliamente durante la etapa de planificación, debido a que almacenan, procesan y proporcionan datos que son empleados en estudios y modelos hidrológicos. En este contexto, resulta sumamente importante contar con registros de variables hidroclimáticas de manera continua y en la mayor parte de la zona a estudiar. En la medida que esta información esté disponible y sea confiable, la planificación, ejecución y operación de los proyectos responderán en mejor forma a las necesidades reales de la región.

En la cuenca Lerma-Chapala hay diversas fuentes de información de las estaciones medición de tipo climatológica e hidrométrica. Estas fuentes son de diversos organismos de gobierno y privado. Esto ha ocasionado gran incertidumbre y desconfianza en el manejo de esta información ya que tienen inconsistencias al compararlas entre sí. Por lo anterior, se implementó una base de datos geográfica (geodatabase) de agua superficial con la estructura

del modelo de datos ArcHydro, el cual posee una estructura estándar para almacenar series de tiempo y datos geospaciales asociados con variables hidrológicas. Este modelo además de ofrecer una manera más organizada de manejar los datos, permite definir direcciones de flujo en las corrientes y obtener la conectividad de la red hidrográfica, y por lo tanto ayuda a obtener la delimitación de los partaguas de las cuencas.

La estimación de las variables de lluvia y escurrimiento es útil para diversas aplicaciones, por ejemplo en el diseño de obras hidráulicas. En ocasiones el hidrólogo puede contar con registros de lluvia u otra variable, sin embargo, en la mayoría de los casos esta información no está completa. Es por ello que se utilizaron diversas técnicas de interpolación (modelos matemáticos) para completar las series de tiempo tanto de lluvia como de escurrimiento.

Este trabajo describe la metodología para la implementación del modelo ArcHydro en su componente de agua superficial en la región hidrológica Lerma-Chapala, utilizando cartografía digital escala 1:50,000 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y series de tiempo que incluyen datos de precipitación y escurrimiento.

1.1 Objetivo

- Recopilar, revisar, procesar y organizar la información geográfica y de series de tiempo (histórica y reconstruida) asociada con el recurso hídrico superficial de la región, en los formatos requeridos por el modelo ArcHydro.

- Implementar una base de datos geográfica con la estructura del modelo de datos ArcHydro para la cuenca Lerma-Chapala.

1.2 Área de estudio

La región de la cuenca Lerma-Chapala se asienta en el centro occidente de la república mexicana. Su extensión es de 51,887 km² aproximadamente, lo que equivale a 3% de la extensión territorial del país. Alberga a 11% de la población nacional y comprende parcialmente territorios de cinco jurisdicciones estatales: Estado de México (10%), Querétaro (5%), Guanajuato (44%), Michoacán (27%) y Jalisco (14%).

El sistema hidrológico de la zona hidrológica del río Lerma-Chapala está constituido por el río Lerma que es el colector principal del sistema, con poco más de 700 km de longitud, este río tiene su origen en la laguna de Almoloya, al sureste de la ciudad de Toluca capital del Estado de México, al cual se integran en su recorrido los ríos La Gavia, Jaltepec, de la Laja, Guanajuato, Turbio, Duero y Zula, hasta desembocar en el Lago de Chapala, el vaso natural interior más grande del país. La configuración del terreno en la cuenca alcanza elevaciones entre 2000 y 4600 msnm. Esta configuración del terreno permite que el escurrimiento de agua fluya de este a oeste pasando por las elevaciones más pequeñas hacia el centro de la cuenca.



Figura 1. Localización geográfica de la cuenca Lerma-Chapala.

2. Metodología

2.1 El modelo ArcHydro

Un modelo de datos geográfico es una representación del mundo real que puede ser usada en un sistema de información geográfica (SIG) para almacenar, consultar y analizar información espacial, Maidment David (2002). ArcHydro es un modelo de datos geográfico desarrollado por el Centro de Investigación y Recursos Hídricos (CRWR) de la Universidad de Texas, que propone una estructura para almacenar en una base de datos geográfica la información espacial y temporal asociada con los recursos hídricos de un área determinada, mediante procesos realizados con el software ArcGIS. Además, al ser una estructura de datos común para diversos proyectos y modelos hidrológicos, reduce los inconvenientes que se presentan en la información, ocasionados por la variedad de formatos en las que se genera por diversas fuentes.

Una de las versiones del modelo ArcHydro es la denominada Framework. Esta es una versión compacta y simple que permite almacenar los datos geoespaciales más importantes que describen un sistema de recursos hídricos. La estructura permite dar el soporte básico para integrar modelos y estudios, y sirve como punto de partida para modelos más completos de datos, que incluyen también series de tiempo. La información espacial que representan rasgos sobre la superficie terrestre y que está almacenada en la geodatabase corresponde a las cuencas (Watershed), cuerpos de agua (Waterbody), red de corrientes (HydroEdge) y puntos de monitoreo (MonitoringPoints); además incluye una tabla (TimeSeries) para almacenar las series de tiempo de los puntos de monitoreo, Velázquez Jaime (2010).

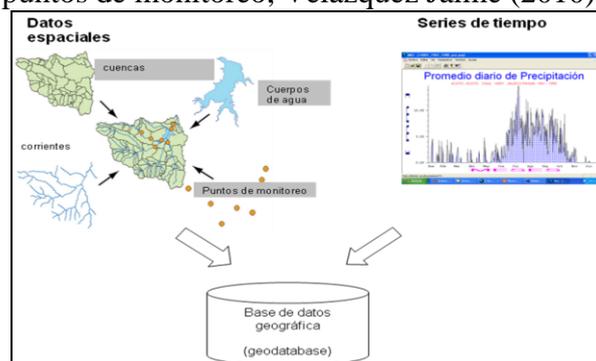


Figura 2. Información geográfica requerida por el modelo ArcHydro.

2.2 Implementación del modelo

Enseguida se presentan algunas definiciones de términos importantes que forman parte del modelo, CRWR (2005); además se detallan cada uno de los procesos que se llevaron a cabo para la implementación:

Geodatabase. Existen dos tipos: personal, si se construye en Access, o empresarial si la base de datos se construye e instala en un servidor usando sistemas como Oracle o SQL Server, o algún otro manejador de base de datos relacional multiusuario.

Feature data set. Es un directorio que almacena objetos Feature class dentro de la geodatabase. Este directorio tiene una proyección, extensión espacial y sistema coordinado definidos, a los cuales se ajustan todos los objetos almacenados (mapas digitales).

Geometric network. Es un estructura de datos donde se almacena la información que describe como están conectadas las aristas y las uniones que componen una red. Esta información se denomina topología.

Feature class. Son elementos que almacenan información sobre conjuntos de objetos del mismo tipo (línea, punto o polígono) y con los mismos atributos, que representan rasgos de la superficie terrestre.

Relationship. En una entidad u objeto donde se almacena la información que describe como se relacionan características que pertenecen a diferentes clases.

2.2.1 Recopilación de la información

La información vectorial y tipo raster recabada para implementar el modelo ArcHydro en la región fueron cuerpos de agua, red hidrográfica, división de cuencas hidrológicas, Modelo Digital del Terreno (MDT), cartas topográficas, ortofotos digitales, estaciones hidrométricas y climatológicas. La fuente del conjunto de datos vectoriales escala 1:50,000 y tipo raster fue el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI (2007). El sistema coordinado que se utilizó fue la proyección Cónica Conforme de Lambert con los parámetros propuestos por INEGI para el país y el datum ITRF92.

La información de series de tiempo considerada fueron datos diarios de precipitación y en el caso de hidrometría se consideraron los gastos medios con un intervalo mensual. La fuente de los datos fue el sistema Clima Computarizado (CLICOM) y el Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales, BANDAS (2003).

2.2.2 Generación de los mosaicos de datos vectoriales

La zona hidrológica Lerma-Chapala está cubierta por un total de 93 cartas en escala 1:50,000. Con la información vectorial recabada se elaboraron los mosaicos de hidrografía, cuerpos de agua y curvas de nivel para toda la región. El procesamiento de la información vectorial y raster, para obtener los insumos requeridos por el modelo ArcHydro, se realizó por separado para cada una de las 19 cuencas que conforman la región.

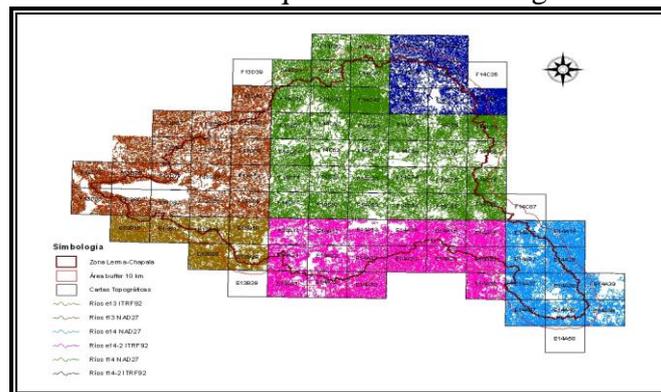


Figura 3. Mosaicos de la red hidrográfica de la zona Lerma-Chapala.

2.2.3 Análisis y edición de la información vectorial

Consiste en la digitalización de los segmentos de ríos faltantes o desconectados, que atraviesan un cuerpo de agua y aquellos que se encuentran discontinuos en la información vectorial de hidrografía para cada una de las cuencas. La edición se realizó apoyándose en las siguientes fuentes de información: cartas topográficas digitales, líneas de drenaje obtenidas a partir del MDT y en ortofotos digitales.

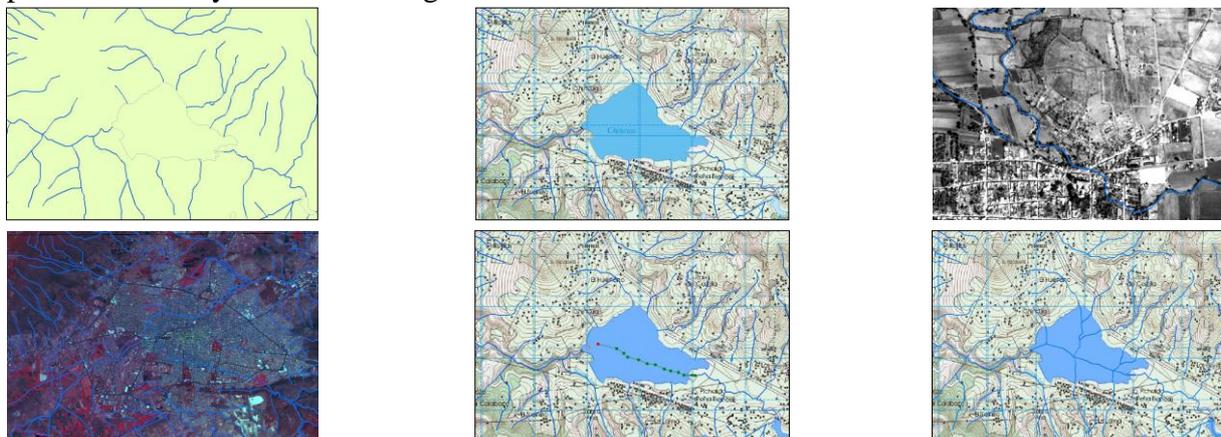


Figura 4. Discontinuidad en los datos vectoriales y proceso de digitalización de ríos faltantes.

2.2.4 Creación y trazado de la Red Geométrica

Además de realizar la digitalización del sistema, también se verificó la dirección de flujo de todos los segmentos. Esta actividad se realizó con la herramienta “Network Analyst” de la plataforma ArcGIS. El objetivo del proceso de edición de la red hidrográfica es contar con una red totalmente conectada, sin ciclos y con dirección de flujo asignada. Estas características son necesarias para crear una red geométrica a partir de la hidrografía. Al modelar la red de ríos como una red geométrica, es posible trazar el flujo del agua desde un punto dado de la red hidrográfica hasta la salida de la cuenca.

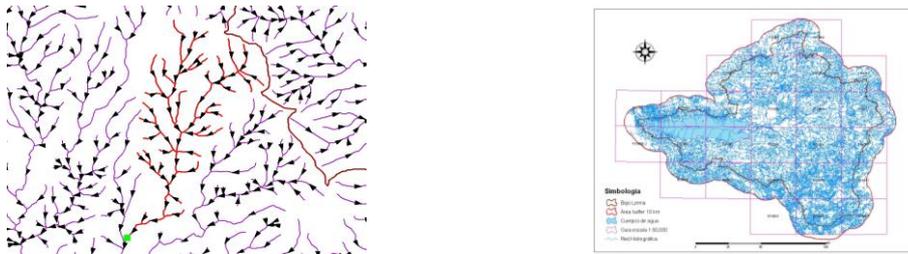


Figura 5. Red geométrica conectada y con direcciones de flujo.

2.2.5 Proceso de definición de la cuenca

Este proceso consistió en obtener los parteaguas de las 19 cuencas de la región Lerma-Chapala utilizando la red hidrográfica y la información de tipo raster procesada para cada cuenca. Al finalizar el proceso de delimitación de todas las cuencas de la región, se unieron los resultados de todas ellas para tener la región hidrológica completa a través del proceso llamado Regionalización, CRWR (2005). La aplicación del proceso de regionalización consiste en integrar los resultados de red hidrográfica conectada, puntos de control y delimitación de áreas drenaje de cada cuenca para toda la región hidrológica. La integración comprende también el acumular todos los valores obtenidos hasta un punto de salida definido, es decir, el punto de salida comprenderá el área total de drenaje hasta ese punto y las longitudes totales de ríos.

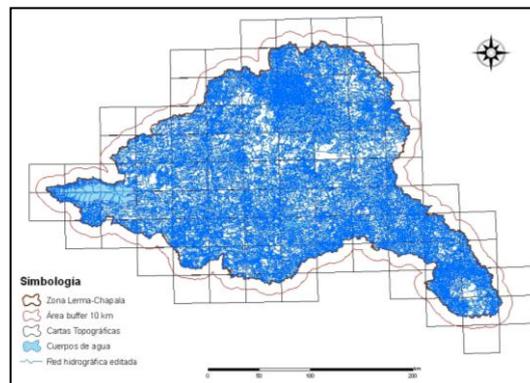


Figura 6. Delimitación de la cuenca Lerma-Chapala utilizando ArcHydro.

2.2.6 Integración de la información histórica

Uno de los temas del modelo ArcHydro es el de puntos de monitoreo (MonitoringPoint). El tema se representa por un mapa digital de puntos que contiene la ubicación de estaciones donde se miden parámetros relacionados con el recurso hídrico. Una tabla asociada con el tema de MonitoringPoint dentro del modelo ArcHydro es la información de series de tiempo. La tabla “TimeSeries” contiene datos diarios y mensuales disponibles de climatología e hidrometría extraídos de los sistemas CLICOM y BANDAS respectivamente. Existen otras dos tablas dentro de la base de datos geográfica que complementan la tabla “TimeSeries”. Las tablas se denominan “TSGroup”, que contiene la fuente de donde proviene la información, y “TSType” que contiene el nombre de la variable, unidades y su intervalo de tiempo.

para completar datos faltantes, sin embargo, la falta de datos mensuales dificulta aplicar el uso de esta técnica, por lo que resultó más práctico utilizar la información de escurrimiento de las estaciones cercanas a la de estudio, e identificar la relación existente del escurrimiento entre ésta y las auxiliares.

Resultados de reconstrucción. Los datos climatológicos calculados con los métodos del USNWS y mínimos cuadrados en general tienen poca diferencia, debido a que ambos toman en cuenta las condiciones meteorológicas que están ocurriendo en el momento. Las series de escurrimiento se completaron principalmente utilizando información existente de escurrimientos registrados en estaciones hidrométricas ubicadas en el mismo cauce aguas arriba. Se seleccionaron aquellas estaciones que se localizaban principalmente a la salida de las cuencas y que además contaban con más del 80% de información de datos de lluvia en el periodo de registro de por lo menos 10 años.

3. Resultados

El resultado fue la creación de un feature dataset dentro de una geodatabase personal con la estructura del modelo de datos ArcHydro implementada en Access, que además de organizar la información geográfica y numérica, destacan las siguientes aplicaciones:

3.1 Obtención de la trayectoria desde cualquier punto de la cuenca hasta su salida

Contar con la red hidrográfica conectada, con dirección de flujo correcta y sin ciclos, permite conocer tanto la trayectoria que sigue el agua desde cualquier punto de la región hidrológica hasta su salida, como la distancia de dicha trayectoria. La siguiente figura muestra diferentes trayectorias, en color rojo, que sigue el agua desde diferentes puntos en las partes altas de la región hasta su llegada al lago.

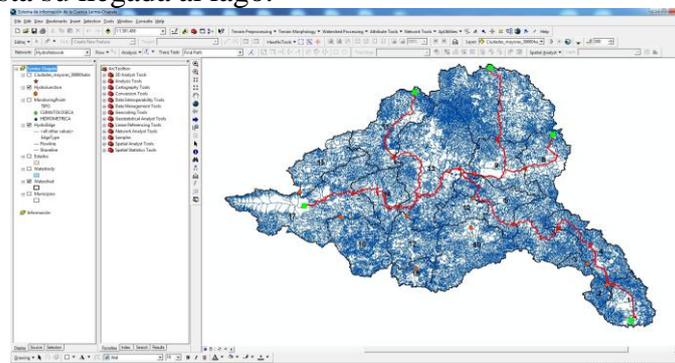


Figura 9. Trayectoria del flujo desde un punto de la red hidrográfica hasta la salida de la cuenca.

3.2 Obtención de las corrientes que aportan agua a un punto determinado.

Otra utilidad que tiene la modelación de la red de ríos como una red geométrica es la posibilidad de conocer las corrientes que aportan agua a un punto determinado, es decir, las corrientes que están aguas arriba de un punto determinado.

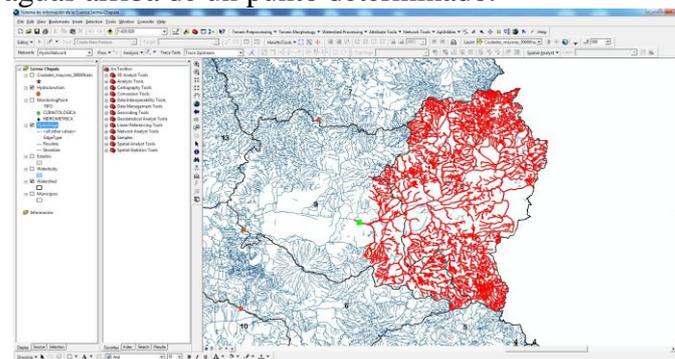


Figura 10. Líneas de corriente que aportan flujo a un punto de interés sobre la red hidrográfica.

3.3 Asociación de series de tiempo e información espacial.

Una de las ventajas de tener almacenada la información geográfica en la misma base de datos donde están las series de tiempo es la posibilidad de establecer relaciones entre ellas, lo cual facilita su consulta y se favorece la integridad de los datos. Cuando se aplica el esquema del modelo ArcHydro se crean automáticamente algunas relaciones útiles en la base de datos. Por ejemplo, al seleccionar una estación climatológica es posible consultar los datos que fueron medidos en ella.

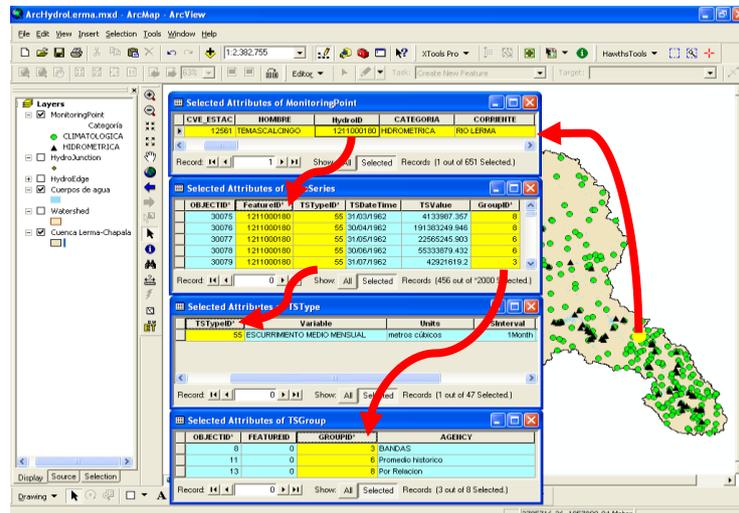


Figura 11. Consulta de series de tiempo y datos geospaciales mediante relaciones existentes.

4. Conclusiones

La aplicación del modelo de datos ArcHydro es una tecnología de información que permite organizar los datos asociados con el recurso hídrico en una estructura estándar, integrando series de tiempo y datos espaciales en una base de datos geográfica. Entre las ventajas de implementar una base de datos de este tipo se pueden mencionar las siguientes: a) contar con la información centralizada, b) reducir que se presenten problemas asociados con la información y c) establecer relaciones entre la información geográfica y numérica.

Por otra parte, para que el sistema sea de gran apoyo en la toma de decisiones, es importante que la información almacenada se valide, actualice y se complemente con información de aguas subterráneas, para contar con una base de datos completa y confiable para la planificación, ejecución y operación de los proyectos encaminados al manejo sustentable de los recursos hídricos de la cuenca.

Referencias

1. Center for Research in Water Resources (CRWR). **Documentación del curso de ArcHydro**. Monterrey, N.L. México. 2005.
2. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). **Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS)**. México, 2003.
3. Departamento de Geografía (INEGI). **Conjunto de datos vectoriales y cartas topográficas escala 1:50,000. Modelos digitales de elevación (MDE)**, México, 2007.
4. Instituto Nacional de Ecología (INE). **Sistematización de casos exitosos de manejo integral de cuencas hídricas**. Dirección de Manejo Integral de Cuencas Hídricas. Disponible en: <http://www.ine.gob.mx/descargas/cuencas/casos_exitosos.pdf>. Acceso en: 20.ago.2012.
5. Maidment, D. **ArcHydro GIS for water resources**. ESRI Press. Redlands, California, USA, 2002.
6. Velázquez, J. **Implementación de bases de datos geográficas, con la estructura ArcHydro, de la cuenca binacional del Río Colorado, en sus componentes de aguas superficiales, calidad del agua y aguas subterráneas, y de una interfaz de consulta y actualización**, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México, 2010.