

Modelo conceptual de modelación hidrológica ante futuros escenarios de conflictos hídricos. Herramienta para toma de decisiones en el uso conjunto del agua (superficial y subterránea) en cuencas de montaña.

Sabrina Miranda^{1, 3}, Jorge Baron¹, Marta Paris² y José Morábito³

¹ Universidad Nacional de Cuyo (UNCuyo); ² Facultad de Ingeniería en Ciencias Hídricas (FICH) – Universidad Nacional del Litoral (UNL); ³ Instituto Nacional del Agua- Centro regional Andino (INA-CRA)

E-mail: sabri_mir@hotmail.com

RESUMEN: El desarrollo futuro de una cuenca depende -en gran medida- del uso que se haga de sus recursos naturales, entre ellos el recurso hídrico. Como el agua -en las cuencas del oeste Argentino es un recurso vital y escaso- su aprovechamiento genera conflictos entre los distintos usuarios (urbano, agrícola, industrial, recreativo, etc.) localizados entre los límites de la cuenca hidrológica, que muchas veces no coincide con la hidrogeológica. La cantidad y calidad del agua que se extrae en los distintos puntos del curso del agua a través de la cuenca - para un uso determinado- y las alteraciones que le otorga el proceso a la cual es sometida, genera cambios cuanti-cualitativos que al retornarla al sistema, son generalmente la fuente de los mayores conflictos. Si se considera la poca disponibilidad que se tiene de este recurso en las cuencas donde se desarrolla la economía mendocina, resulta esencial que se estudien en forma anticipada estas relaciones para minimizar los eventuales conflictos y determinar cuáles serán los principales aspectos a considerar para garantizar la sostenibilidad del recurso. La modelación constituye una herramienta que puede otorgar luz a distintas situaciones que pudieran presentarse, mediante el análisis de escenarios para diversas condiciones. Los resultados permitirían establecer cuáles son las posibles acciones que contribuyan al desarrollo de la cuenca. En este trabajo se presenta una modelación conceptual del problema planteado, que servirá de base para la modelación numérica futura.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento acelerado de la población, que se traduce en un ineludible aumento en la producción agroindustrial y del consumo de agua para su abastecimiento, genera desequilibrios en la hidrología de una cuenca. Las distintas actividades humanas que se desarrollan en ella afectan tanto la cantidad como calidad del agua, generando conflictos que se ven más acentuados entre los usuarios de zonas altas y bajas (Chambouleyron, 2002). Como plantea Albuquerque Rocha (2002) la consecuencia del proceso de crecimiento económico, del urbanismo y de la concentración demográfica alteran profundamente la condición de los recursos hídricos, por lo que el uso descontrolado y la contaminación configuran un cuadro generalizado de disputa por el agua.

Al ser el agua indispensable para el desarrollo económico social, en zonas áridas como Mendoza, ésta adquiere particular relevancia, ya que sus cuencas son generadoras netas de materia prima y alimentos siendo éste un ejemplo claro del papel de las aguas subterráneas en el desarrollo de la agricultura en todas las áreas bajo riego de las regiones áridas y semiáridas.

El uso sostenible de los recursos hídricos requiere adoptar un enfoque integrado entre la demanda – representada por los distintos usos, usuarios- y, la oferta que proviene de las diferentes fuentes de agua superficial y subterránea. Las reformas necesarias para apuntar a una gestión integrada requieren, entre otras cosas, de información oportuna de tipo física, pero también el uso de instrumentos de gestión (Barbazza 2007). La utilización conjunta, o coordinada, podría definirse como una forma eficiente de satisfacer las demandas de agua del hombre, que se basa en aprovechar los recursos hídricos, superficiales y subterráneos, de forma coordinada, incrementando la disponibilidad, economizando su empleo en base a una racional modificación del ciclo hidrológico, en armonía y respeto a las demandas del medio natural según plantea Montoya Flores (2001).

Por lo expuesto es que se requiere promover la generación de nuevas herramientas, que brinden un enfoque generalizado del sistema y sus condiciones respecto a la disponibilidad y calidad del agua, de modo que sirva como base a la hora de tomar decisiones aplicadas a distintos aspectos que involucra el desarrollo de una cuenca, tales como: asignar mejor el recurso, detectar puntos donde son necesarias inversiones y mejoras en el sistema, proteger la calidad y cantidad del recurso hídrico y los ecosistemas relacionados, entre otros.

OBJETIVO

El objetivo general de este trabajo es presentar un modelo conceptual para poder establecer las distintas relaciones que se presentan en el uso del recurso agua dentro de una cuenca, tomando en cuenta el balance hidrológico y cómo se ve afectado por diferentes parámetros socio-económicos y culturales.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

Mendoza es la provincia con mayor superficie irrigada del país, representando el 25% del total nacional; los oasis bajo riego ocupan sólo el 3,4% de la superficie y en ellos se concentra la mayor parte de la actividad económica y humana (DGI, 1999).

El área perteneciente al río Mendoza, limita al Sur con la cuenca del río Tunuyán, al Oeste con la cordillera de los Andes, al Este con la llanura desértica y al Norte con la cuenca del río San Juan. Ocupa una superficie total de 19.553 km². Asimismo, el agua subterránea de la denominada Cuenca Norte -que comprende el río Mendoza y el río Tunuyán inferior- abarca una superficie aproximada de 22.800 km². A lo largo de su curso el río Mendoza infiltra aproximadamente el 16% de su caudal, mientras el resto es distribuido para riego y otros usos (DGI, 1999).

La recarga de los acuíferos se produce como consecuencia de las infiltraciones de agua que ocurren a través de la superficie del suelo, ya sea desde el lecho de los ríos (de régimen nival), canales o áreas regadas, sumada a las pérdidas en los conductos subterráneos como lo son las cañerías de agua potable y sanitarias, etc. Las lluvias contribuyen muy poco ya que la precipitación media de Mendoza es de aproximadamente 200 mm anuales. En el aspecto glacial, según el informe presentado por Bottero (2002) el río Mendoza cuenta con una extensión de glaciares de 662,34 km².

La extracción anual por bombeo promedio estimada para la cuenca norte es de 622 hm³/año, infiriendo para el oasis del río Mendoza valores promedios de 385 hm³/año (DGI, 1999); en la actualidad existen aproximadamente 20.000 perforaciones registradas en la provincia de Mendoza de las que solo la mitad están en funcionamiento. En la cuenca norte existen aproximadamente 8.000 perforaciones, especialmente orientadas a la extracción de agua subterránea para riego y explotan los acuíferos tanto en la zona de acuíferos libres, en la zona de surgencia como en la zona de acuíferos confinados (Hernández, 2006).

La red de riego del río Mendoza, tiene una longitud que supera los 3.400 km, mientras que la longitud de los drenajes principales supera los 450 km según lo expuesto en el informe del Plan Hídrico para la Provincia de Mendoza (DGI, 1999).

En la Figura 1 se puede observar la ubicación del Oasis irrigado por el río Mendoza

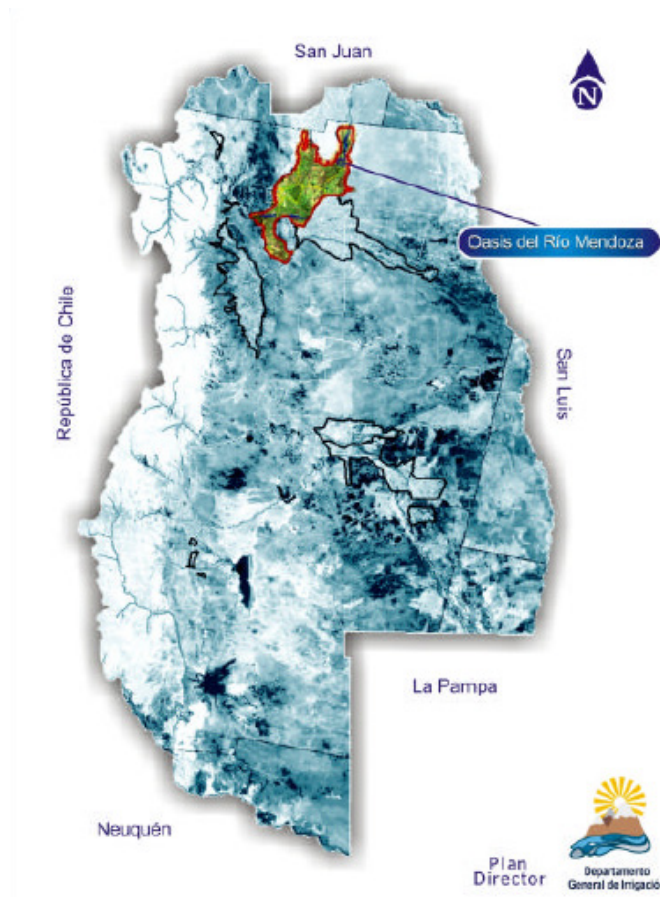


Figura 1.- Oasis irrigado del río Mendoza

MODELO CONCEPTUAL

El modelo pretende determinar la relación entre el volumen de agua aprovechable, denominado **oferta neta** y las **demandas** que se presentan en el sistema cuenca.

En la Figura 2 se presenta un esquema del modelo conceptual con las siguientes variables consideradas:

- **Oferta neta (*Oferta Neta*):** será la suma algebraica de todas las variables que hacen al volumen de agua utilizable dentro del sistema, éstas son: volumen embalsado, volumen de agua subterránea aprovechable y Re-uso a los que se resta el agua que no puede ser usada o se pierde a la salida de la cuenca, es decir volumen de agua pasante y volumen de agua no tratada.
- **Demanda:** será considerada como la suma de todos los volúmenes de agua que se utilizan en los diferentes usos del recurso dentro de la cuenca, es decir contemplará el consumo agrícola (necesidad de los cultivos), consumo poblacional, consumo industrial, caudal ecológico, etc.
- **Volumen de masa glacial (*Vol. de Masa Glacial*):** contemplará la sumatoria del aporte al escurrimiento del derretimiento de las masas glaciales que contiene la cuenca bajo estudio.
- **Volumen de aporte nival (*Vol. Aporte Nival*):** contemplará sólo el aporte de la precipitación nival y se tomará de algún modelo existente, para este punto se está evaluando la utilización de los

pronósticos de escurrimiento, brindados por la DGI, que son estimados anualmente por dicha institución.

- *Volumen de deshielo (Vol. de Deshielo)*: Para esta variable se examinarán los parámetros que hacen al aumento o disminución del escurrimiento mediante el aporte de masas glaciales (*Vol. de Masa Glacial*) y el volumen de agua proveniente de las nevadas invernales (*Vol Aporte Nival*). Básicamente será la sumatoria de las variables mencionadas.
- *Tasa de deshielo (idem en modelo)*: si bien este factor no es una variable de estado, determina la velocidad de cambio por unidad de tiempo de la variable Volumen de deshielo.
- *Volumen de agua superficial (Vol. de Agua Sup.)*: Ésta variable de estado considera que si aumenta el deshielo y la precipitación, aumentará el volumen de agua superficial; y a su vez -el volumen de agua superficial- dependerá de la *Tasa de infiltración* del suelo, ya que aumentando o disminuyendo ésta, la variable descripta tendrá un comportamiento en la dirección opuesta.
- *Tasa de infiltración (idem en el modelo)*: este valor no es una variable de estado pero afectará el cambio del Volumen de agua superficial en el tiempo
- *Volumen embalsado (Vol. Emb.)*: se considerará como la suma de los volúmenes de agua almacenados en los reservorios que se encuentran en la cuenca. Éste parámetro variará dependiendo de las condiciones de escurrimiento (sequía o abundancia) y de las inversiones que se efectúen en materia de construcción de nuevos reservorios de agua.
- *Volumen de recarga (Vol. Recarga)*: contemplará el aporte por infiltración de las aguas de deshielo (*Vol. de deshielo*) y la infiltración en los tramos de canalizaciones no impermeabilizadas- es decir la relación entre la longitud de canales permeables y la tasa de infiltración en canales. Si aumentan las tasas de infiltración (tanto la que afecta al deshielo como la que lo hace con los canales) aumentará el volumen de recarga, a su vez esta variable será afectada por la disminución de la longitud de canales permeables.
- *Longitud de canales permeables (Long. C. Perm)*: ésta es una variable que dependerá de la tasa de permeabilización de canales (longitud de canales que se impermeabilizan por año), indicada en el modelo como (*Tasa de imp. anual*) y la longitud total de canalizaciones que presenta la cuenca (*Long. total de canales*).
- *Longitud total de canales (Long. total de canales)*: será considerada como sumatoria de todas las conducciones de agua que presenta la cuenca-es decir la suma de los canales primarios, secundarios y terciarios).
- *Tasa de impermeabilización anual (Tasa imp. anual)*: considerará el avance en la impermeabilización de las distintas canalizaciones que contiene la cuenca por año.

- *Volumen de agua subterránea (Vol. Agua Sub.):* considerará la capacidad volumétrica extraíble de todos los acuíferos que aportan a la cuenca o reserva reguladora.
- *Volumen de agua subterránea explotada (Vol. Agua Sub. explotada):* depende de la cantidad de pozos con permiso de extracción y su tasa de extracción promedio (*Tasa extracción promedio*), que será estimada de acuerdo al consumo eléctrico.
- *Volumen de agua que sale del sistema (Vol. Agua que sale del sistema):* esta variable considera las posibles formas en que el agua ya no puede ser utilizada dentro del sistema cuenca, entre las que se encuentran: *Volumen de agua pasante* y *Volumen de agua no tratada*
- *Volumen de agua pasante (Vol. Agua Pasante):* será considerada como aquella que sale de la cuenca a través de su punto de desembocadura.
- *Volumen de agua no tratada (Vol. Agua no tratada):* corresponderá al volumen de agua que por sus condiciones de contaminación no podría ser reutilizada en el sistema; como aguas residuales con altos contenidos de sales y metales pesados.
- *Re-uso (Reuso):* dependerá del tratamiento que se le otorgue al agua que ha sido utilizada en diferentes procesos tanto industriales como agronómicos y de consumo poblacional, y pueden retornar al sistema como agua aprovechable. Por lo que un aumento en las tasas de remediación (variables que no se han establecido en forma explícita en éste modelo) genera un aumento en el agua de re-uso.
- *Consumo Agrícola (C. Agrícola):* esta variable se tomará desde algún modelo existente- el cuál se está evaluando- determinándola a partir de un análisis en las necesidades de riego de los diferentes cultivos que estén presentes en la cuenca, su porcentaje de cobertura, parámetros climáticos, eficiencia, etc.
- *Consumo Poblacional (C. Poblacional):* contemplará la variación en el consumo dependiendo del crecimiento poblacional, eficiencia en la entrega del agua, y consumo per cápita.
- *Eficiencia en la entrega (Ídem en modelo):* si bien no se especifican en el modelo presentado los parámetros que modificarán esta variable, lo que se tendrá en cuenta al momento de su análisis es el estado de las conducciones (cañerías), es decir, longitud de cañerías que han sido remplazadas encontrándose sin problemas de pérdidas en relación con la longitud total de conducciones que sirven a la población de la cuenca.
- *Consumo per cápita (Ídem):* esta variable contemplará el aumento o disminución del consumo de agua por persona en el total de la población que debe ser servida en la cuenca.
- *Consumo Industrial (C. Industrial):* esta variable será el producto del análisis del consumo de industrias más representativas de la cuenca y se realizará mediante una estimación indirecta en función del tipo de industria y su producción.

- *Caudal ecológico (Caudal Ecológico)*: en ésta variable se contemplará el caudal que se debe mantener en el río para cumplir con las funciones ecológicas y así preservar la flora y fauna. Ésta variable compone la determinación del caudal pasante.
- *Crecimiento poblacional (idem en modelo)*: para la estimación de esta variable se considerarán las proyecciones de crecimiento poblacional, para lo que se tomarán los resultados de los modelos poblacionales generados por los organismos nacionales y/o provinciales de estadística y censo.

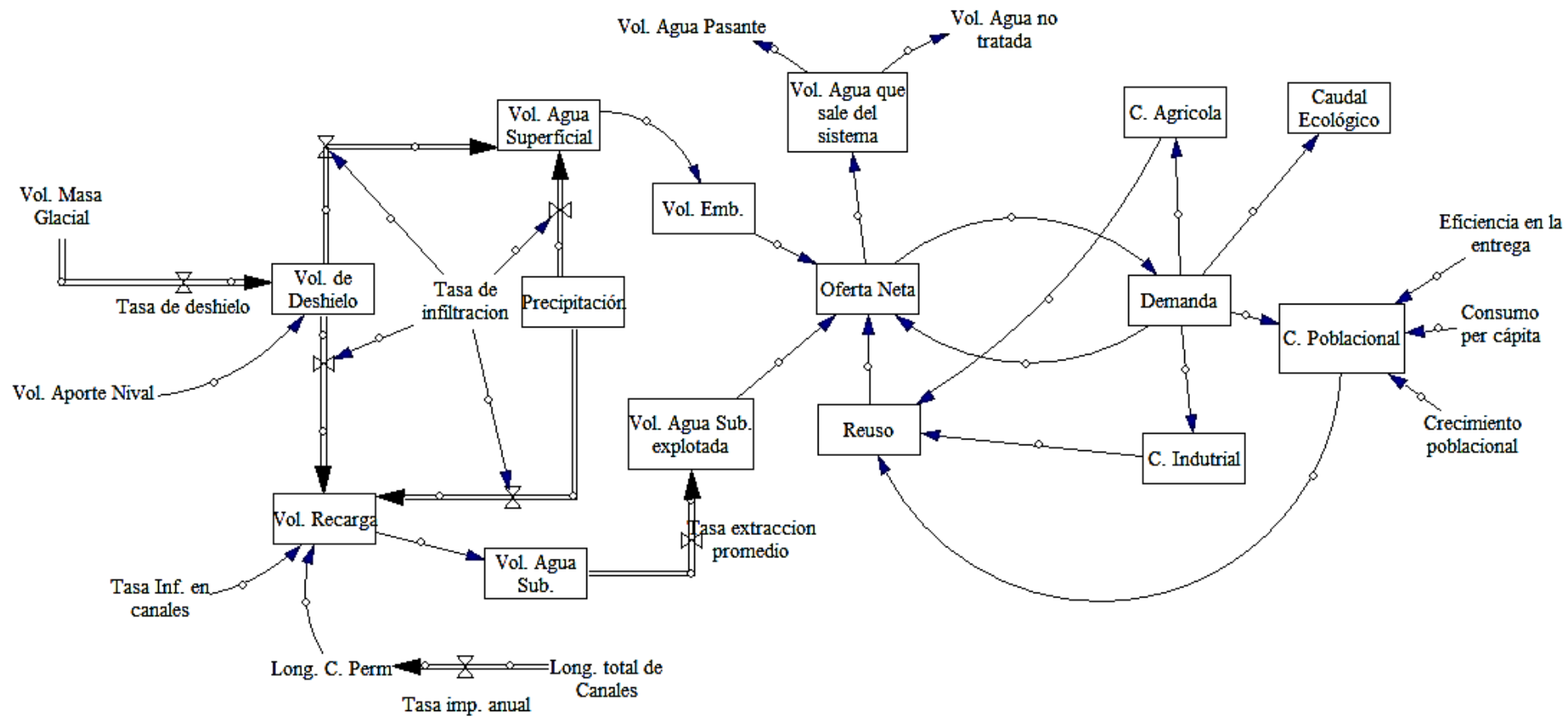


Figura 2.- Esquema del Modelo

CONSIDERACIONES FINALES

Este trabajo forma parte de las investigaciones que se realizan en el marco de la carrera de Doctorado en Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo (UNCuyo) dentro del Proyecto Modelación hidrológica regional del agua superficial y subterránea en la cuenca Norte de Mendoza, encuadrado en el Programa de formación de doctores en áreas prioritarias de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) y la UNCuyo bajo la resolución de otorgamiento N° 2595/10-R, con establecimiento de trabajo en el Instituto Nacional del Agua-Centro Regional Andino (INA- CRA); (Resolución N° 211).

Se espera que este modelo conceptual aquí presentado, sirva de base para la construcción de un modelo numérico que permita realizar simulaciones y plantear escenarios futuros, fundamentalmente para identificar en forma anticipada sobre posibles conflictos por el uso del agua, y formular recomendaciones para una forma eficiente de utilización de los recursos hídricos de la cuenca.

En el caso particular del riego, se prestará especial atención a las eventuales diferencias que puedan constatarse en los datos históricos de volúmenes programados y volúmenes realmente entregados. Una investigación antecedente realizada en el marco de una pasantía de investigación en la Subdelegación de Aguas - Río Mendoza (Miranda - Barbie, 2011), ha puesto en evidencia esta situación. Se trata de una primera aproximación en base al conocimiento de las herramientas utilizadas en la toma de decisiones respecto a la distribución de agua para riego implementadas en la subsección del Dique Cipolletti. Durante la pasantía se realizó un análisis de planillas de turnado, balance diario y planillas de distribución, del que pudo vislumbrarse existe una diferencia entre lo que se programa y lo que realmente se entrega, en algunos puntos de derivación de agua y en distintos meses del año, haciendo poco eficiente la entrega de agua para este fin.

Además de la necesaria idoneidad y experiencia de los profesionales que tienen a cargo la distribución de los caudales disponibles, se considera que alguna moderna herramienta de procesamiento de la información como la que se espera desarrollar, puede contribuir notablemente en la toma de decisiones para hacer un uso eficiente del agua.

REFERENCIAS

- Albuquerque Rocha G. 2002. *Notas de clases dictadas en el II Curso internacional de aspectos geológicos de protección ambiental UNESCO*, Montevideo, Uruguay, 332, pp 178-187
- Barbazza C. 2007. Valoración económica del agua subterránea. *Jornadas Hídricas 2007*. Mendoza Argentina
- Bottero F. 2002. *IANIGLA, 30 Años de Investigación Básica y Aplicada en Ciencias Ambientales*, Mendoza, Argentina., pp 165-170
- Chambouleyron J. 2002. Evaluación de impactos en la cuenca del río Tunuyán Mendoza, Argentina, Mendoza, Argentina, 185, pp 1-10.
- DGI- Departamento General de Irrigación. 1999. Plan director del río Mendoza. *Plan Hídrico para la Provincia de Mendoza. Bases y propuestas para el consenso de una Política de Estado*, Mendoza, Argentina, 76, pp 5-41.
- Hernandez J. 2006. Particularidades de las cuencas hidrogeológicas explotadas con fines de riego en la provincia de

- Mendoza. INA-CRA. III Jornadas Actualización de Riego y Fertirriego Mendoza. Argentina,
- Miranda S; Barbie M. 2011. *Informe análisis de distribución del agua en dique Cipolletti*. INA-CRA Mendoza, Argentina.
- Montoya Flores F. 2001. Ventajas del Aprovechamiento Conjunto de Aguas Superficiales y Subterráneas: El Ejemplo De Madrid. *Jornadas técnicas sobre aguas subterráneas y abastecimiento urbano*. ITGE. Madrid. España., 323, pp 303-316.