

Manejo conjunto del agua en la subcuenca Támbula-Picachos, Guanajuato, México

• Mario A. Hernández* •

Universidad Politécnica de Valencia, España

*Autor de correspondencia

• Alfredo Amador • Sonia T. Sánchez •

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México

• Abel Solera •

Universidad Politécnica de Valencia, España

Resumen

Hernández, M. A., Amador, A., Sánchez, S. T., & Solera, A. (noviembre-diciembre, 2014). Manejo conjunto del agua en la subcuenca Támbula-Picachos, Guanajuato, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5(6), 159-165.

Por sus características geográficas, climáticas y de desarrollo, en regiones como el centro y norte de México existe un grave problema de disponibilidad de agua, siendo la explotación de los acuíferos la principal fuente de abastecimiento. La integración de los sistemas de apoyo en la toma de decisiones tiene como función principal servir de ayuda para el gestor dentro del proceso de toma de decisiones, facilitando la transmisión de información y generación de nuevas ideas. El sistema de apoyo del *software Aquatool* es una herramienta que permite plantear, generar y discutir distintos escenarios actuales y futuros sobre el manejo de la disponibilidad del agua dentro de una zona de estudio. Con el conocimiento del funcionamiento hidrológico superficial y subterráneo de la subcuenca Támbula-Picachos, Guanajuato, y sus acuíferos relacionados, mediante la adecuación y el uso de modelos matemáticos capaces de reproducir de manera conjunta el flujo del agua en una cuenca, es posible tener una visión general sobre el uso de los recursos hídricos de un territorio, así como su funcionamiento, explotación y renovabilidad.

Palabras clave: manejo hídrico conjunto, cuenca, acuífero, explotación sustentable, procesos hidrológicos, escenarios de manejo, subcuenca Támbula-Picachos.

Introducción

De acuerdo con López (1993), es necesario conocer la serie de caudales en "régimen natural" para realizar una correcta planificación

Abstract

Hernández, M. A., Amador, A., Sánchez, S. T., & Solera, A. (November-December, 2014). *Integrated Water Management in the TAMBULA-PICACHOS Sub-Basin, Guanajuato, Mexico*. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*, 5(6), 159-165.

Due to its geographical, climatic and development in regions such as central and northern Mexico there's a serious problem of water availability, being the exploitation of aquifers, the main source of supply. The integration of support systems in decision making has as main function to assist the manager in the decision making process, facilitating the transmission of information and generation of new ideas. The support system *Aquatool Software* is a tool to generate and discuss current and future scenarios on the management of water availability within the study area. With the knowledge of surface and subsurface hydrological functioning of the Sub-basin TAMBULA-PICACHOS, Guanajuato, and its associated aquifers, through the adaptation and use of mathematical models capable of modeling together the flow of water into a basin, it is possible to have an overview of the assessment of water resources in a territory, and its operation in terms of exploitation and renewal.

Keywords: *Integrated water management, watershed, aquifer, sustainable exploitation, hydrological processes, management scenarios, sub-basin TAMBULA-PICACHOS.*

Recibido: 20/06/11
Aceptado: 30/06/14

a los del régimen natural, por lo que se deben reproducir de manera aproximada mediante el auxilio de modelos matemáticos que consideren las modificaciones antropogénicas a lo largo del tiempo.

La modelación de escenarios de gestión permite analizar y planificar sistemas de recursos hídricos, partiendo del análisis de series históricas y datos cualitativos obtenidos para una zona de estudio. Para realizar el análisis de la gestión de los recursos hídricos en una cuenca donde se simule su funcionamiento es necesario: (1) construir un modelo matemático que refleje la realidad de manera abstracta; (2) la aplicación de este modelo calibrado a un caso específico mediante la manipulación de distintas variables dentro del sistema, y (3) realizar un análisis e interpretación de los resultados obtenidos en el modelo (López, 1993).

Área de estudio

Hidrología superficial

De acuerdo con la división hidrológica superficial de la Comisión Nacional del Agua (Conagua, 2007), la subcuenca Támula-Picachos (figura 1) pertenece a la cuenca Lerma-Chapala y dentro de ésta, a la cuenca del río Laja, en el estado de Guanajuato. Está conformada por nueve microcuencas (Alcocer, Cerritos, El Huizachal, Guadalupe de Támula, Puerto de Nieto, Sosnabar, San Marcos de Begoña, San Miguel de Allende, Santa Teresita de Don Diego), con 390.22 km² de superficie, delimitadas y reconocidas por el Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato (IEEG, 2007). La unidad de escurrimiento que es relevante para su manejo es la UE-1, conformada por siete de las nueve microcuencas que desembocan en

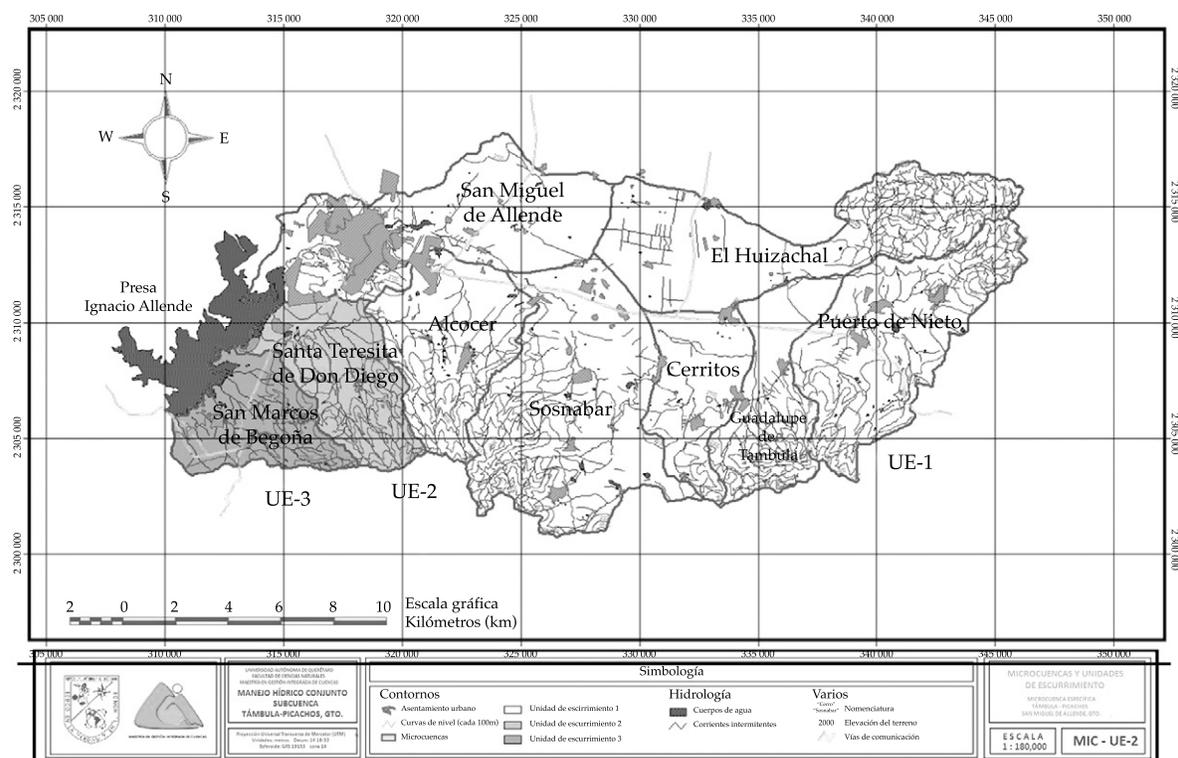


Figura 1. Microcuencas y unidades de escurrimiento.

la ciudad de San Miguel de Allende y la presa Ignacio Allende.

Las corrientes superficiales descienden a manera de arroyos desde las formaciones montañosas con caudal intermitente. Los principales cuerpos de agua presentes en la subcuenca son los denominados “bordos” de tierra y mampostería, algunos construidos hace más de 100 años, otros más con poca capacidad debido a problemas de azolve y fallas. Se ha reconocido una correspondencia entre la UE-1 y el acuífero San Miguel de Allende, siendo la principal fuente de abastecimiento subterránea para el desempeño de las actividades antropogénicas en la zona.

Hidrología subterránea

En la subcuenca se reconocen dos regiones geohidrológicas principales: los acuíferos de San Miguel de Allende (SMA) y Cuenca Alta del Río Laja (CARL), de acuerdo con lo registrado en el documento “Estudio hidrogeológico del acuífero Río Laja-San Felipe, Gto.” del año 2000 de la CEAG. De acuerdo con la Conagua (2007), la subcuenca se encuentra en dos zonas de veda: Decreto núm. 1106 (27/01/1958) y núm. 1102 (24/01/1949), veda tipo II, en donde se prohíbe la construcción de nuevos pozos para la extracción de agua subterránea en el área, lo que hace de especial interés el estudio de su funcionamiento hidrológico.

Se considera que el acuífero SMA es la principal región geohidrológica sobre la que inciden las actividades antropogénicas y ambientales de la subcuenca, cubriendo un 78% de la zona, registrando variaciones en la profundidad del nivel estático entre los 100 y 120 m. Se tiene un flujo subterráneo subregional desde las partes altas de montaña y lomerío hacia el centro del valle y hacia el río Laja.

Metodología

Para la evaluación del manejo hídrico conjunto es necesario un módulo hidrológico superficial y uno subterráneo, los cuales deberán

contar con un alto grado de interrelación. Para el “módulo superficial” se determinan las entradas y salidas de agua, atendiendo al balance superficial. Para el “módulo subterráneo” se determina el funcionamiento del acuífero con el que más está relacionada la subcuenca. Ambos módulos están sometidos a acciones internas y externas referentes al suministro y demanda de agua. Las acciones internas consideradas como procesos naturales son precipitación, evapotranspiración, escurrimiento e infiltración; las acciones externas consideran las demandas de agua (producto de las actividades desarrolladas por la población en la subcuenca) como su principal componente.

Es posible ir más allá del conocimiento de la situación del manejo actual del agua a través de la elaboración de escenarios tendenciales a mediano y largo plazos, mediante proyecciones de crecimiento poblacional, de incremento en las demandas o recarga en el sistema. Para ello se utiliza el *software Aquatool DMA* (versión 3.40, 2007), con el que se hacen simulaciones alternas del manejo conjunto del agua en la subcuenca. El módulo *Aquival* (2007) se usa para simular la evolución de los niveles piezométricos, atendiendo a distintos escenarios de gestión. Tanto el módulo *SIMGES*, como *Aquival* requieren datos generales de demandas de agua a una escala de tiempo mensual (Andreu, Solera, Capilla, & Ferrer, 2007), las cuales se determinaron mediante el análisis de consumos al interior de la subcuenca.

Resultados

Modelación superficial

El funcionamiento del esquema de gestión conjunta de la subcuenca se basa en su división por microcuencas, por lo que las demandas hídricas atenderán a sus principales actividades realizadas. Se grafica la serie de precipitación de 1954 a 2004 y se obtienen sus propiedades estadísticas (figura 2), con valores de la media y mediana, etc., de los datos extraídos de *ERIC*

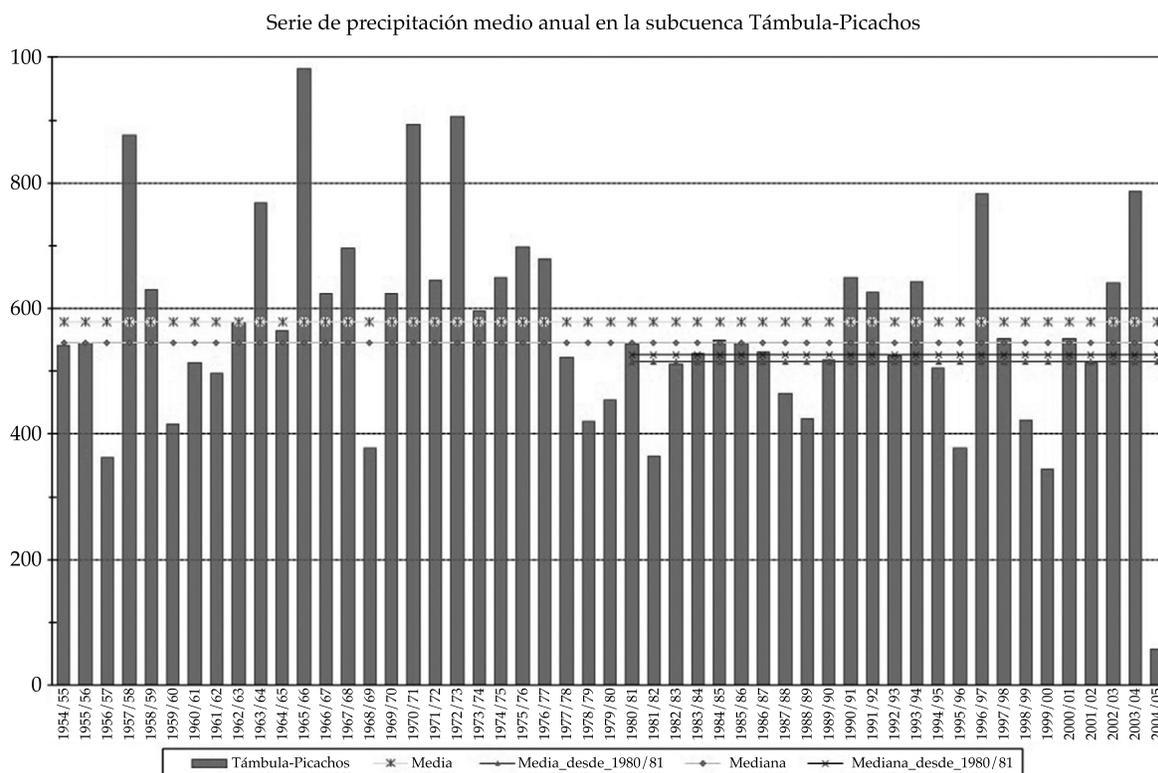


Figura 2. Serie de precipitación media anual para la subcuenca Támula-Picachos.

III para las cinco estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio. Destaca una media anual de precipitación de 585 mm, que se ha visto reducida en los últimos 20 años, debido posiblemente al efecto de cambio climático.

Como método alternativo de comparación en la evaluación del escurrimiento directo se utilizó el "Método de Transporte de Información Hidrométrica", extrayendo información de la estación hidrométrica La Begoña (I y II), que afora la cuenca alta del río Laja (4,984 km²) y de la estación Cinco Señores, ubicada en una cuenca a 18 km al noreste de San Miguel de Allende, con un área de 408 km².

La metodología para el cálculo simultáneo del escurrimiento directo y la recarga potencial fue el uso del modelo de Témez (Témez, 1977), tomando como referencia los datos medios ponderados de precipitación y temperatura registrados en las cinco estaciones climáticas

de la zona y la recopilación de información cualitativa usada para corroborar y validar los datos de escurrimiento superficial de la zona. Se calculó sólo la infiltración de la UE-1, pues sólo ésta incide en la recarga del acuífero SMA.

Observando el área ocupada por los cuerpos de agua (3.54 km²) registrados en el mapa de "Uso de suelo y vegetación" de 1993 y 2003, y considerando un promedio bruto entre 2.0 y 2.5 m de profundidad en los bordos y represas presentes en la zona, se calculó un valor estimado del volumen almacenado en la subcuenca entre 7.08 y 8.85 Hm³/año. Este volumen sólo se encuentra disponible entre seis y ocho meses de acuerdo con la información recabada en recorridos de campo.

Las opciones calibradas de humedad máxima ($H_{m\acute{a}x}$) e infiltración máxima ($I_{m\acute{a}x}$) consideradas en el modelo de Témez fueron rangos mínimos, medios y máximos de $H_{m\acute{a}x}$ e $I_{m\acute{a}x}$. Se registró un valor máximo de 9.65

Hm³ para septiembre, que corresponde al mes en que los informantes de la zona de estudio usualmente registran inundación de parcelas, terracerías y algunas zonas bajas cercanas a distintas localidades de la subcuenca. Además, se observó una correspondencia entre los picos de escurrimiento aforados en la estación Cinco Señores, respecto a los caudales calculados con el modelo de Témez calibrado, en el cual se registra un escurrimiento medio máximo anual de 113.19 Hm³ para el año de 1996, mismo que coincide con el registro histórico de inundaciones presentes en la ciudad de San Miguel de Allende y otras localidades.

Modelación subterránea

El acuífero SMA tiene un área de 414.3 km² y está directamente relacionado con la UE-1, por lo que para calibrarlo sólo se toma en cuenta una parte de la subcuenca, considerando: (1) el acuífero SMA es independiente del acuífero CARL, debido a un desplazamiento geológico que divide los niveles freáticos en dos distintas zonas; (2) es de tipo granular, semi-confinado, con descargas libres en la zona noroeste y su descarga es hacia la represa del Charco del Ingenio; (3) las mayores demandas están al

norte, representadas por zonas agrícolas; (4) sólo un 13% del agua para abastecimiento urbano se extrae del acuífero SMA y el 87% se abastece del acuífero CARL.

Se consideró una malla de cinco filas y cinco columnas y un ancho de las celdas de 5 000 x 5 000 m. Como condiciones de contorno se tomaron como celdas inactivas aquellas que representan las zonas montañosas y como celda de nivel constante (celda [1-1]), el punto de confluencia de los flujos subterráneos. Los parámetros hidrodinámicos tuvieron valores iniciales de transmisividad (*T*) de 2 053 m²/día y un coeficiente de almacenamiento (*A*) de 0.055. Los valores de *T* y *A* por calibrar deben cumplir con las condiciones de descenso registradas (1.7 m en la celda [2-1] y 3.2 m en la celda [3-3]) y la pendiente de descenso entre 1.5 y 2.8%. Cuando se adoptaron valores de *T* entre 800 y 900 m²/día y *A* de 0.015, se observaron estas condiciones.

Esquema de trabajo en Aquatool DMA

Para la simulación conjunta hecha en el módulo SIMGES (2007), se usó el escenario Támula-Picacho (figura 3) y un nombre de modelo distinto para cada cambio en la gestión, con

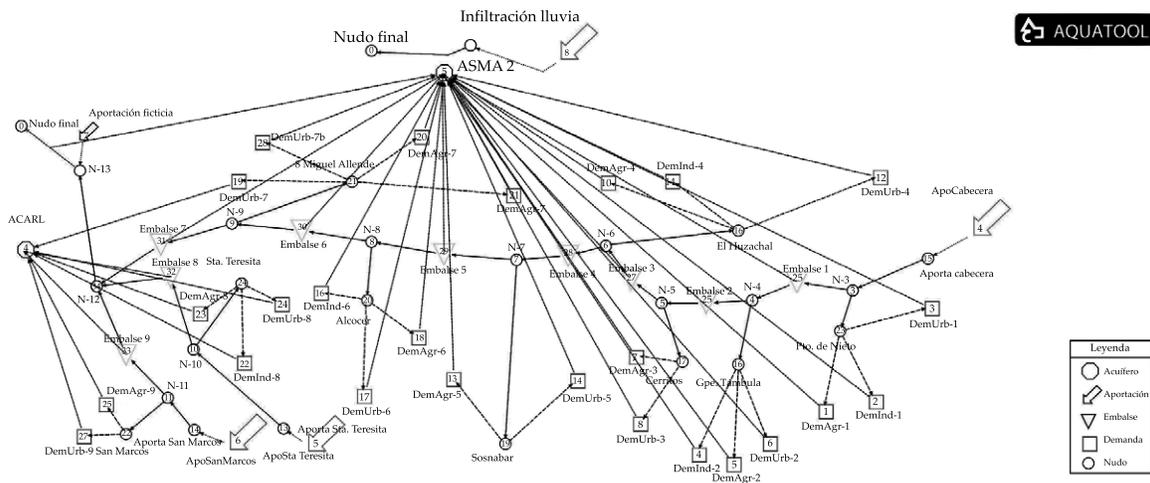


Figura 3. Esquema de trabajo para la simulación del manejo hídrico conjunto en la subcuenca Támula-Picachos, Guanajuato.

un periodo de 50 años (de 1954 a 2004). Para evaluar otras situaciones, el escenario actual no se alteró, sólo se modificaron las “demandas” de acuerdo con cada variante del escenario simulado. Los escenarios de manejo analizados son: (1) el aumento en las demandas consuntivas, para 2025 y 2050; (2) una recarga difusa por bordos; (3) el aumento de la capacidad de almacenamiento de los embalses; (4) un escenario de gestión mixto con reducción de demanda e incremento de la recarga.

Discusión de las simulaciones

De acuerdo con los escenarios simulados, el descenso promedio en el acuífero es el siguiente:

1. Considerando la tendencia de demanda histórica: para 2004 (escenario actual) es entre 1.9 y 3.4 m; para 2025 (medio plazo) se registrará un descenso entre 3.9 y 5.6 m; para 2050 (largo plazo) será entre 5.1 y 6.9 m.
2. Considerando la reducción de la demanda actual en un 30%, se registrará un descenso de niveles entre 1.3 y 2.5 m (corto plazo).
3. Considerando el aumento de la filtración en embalses al doble, el descenso de niveles variará entre 0.6 y 1.1 m (corto plazo).
4. Si se toma en cuenta la reducción del 30% de la demanda actual y el doble de filtraciones en los embalses, se registrará un descenso entre 0.2 y 1.0 m (como escenario de mayor recarga a corto plazo).

Sobre el cambio de almacenamiento para los escenarios simulados, se tiene que:

1. Manteniendo la tendencia de demanda en el acuífero, se pasará de un déficit de 10.55 Hm³ en 2004 a 12.6 Hm³ en cinco años y hasta 34.2 Hm³ en 20 años.
2. Si se considera la tendencia del incremento en la demanda hídrica, se alcanzará un déficit de 56.5 Hm³ en cinco años y hasta 192.3 Hm³ en 20 años.

3. Si se tiene una reducción de la demanda actual en un 30%, el déficit en cinco años sería de 3.5 Hm³ y de 1.3 Hm³ en 20 años.
4. Si se considera el doble de capacidad en el almacenamiento y su filtración al acuífero, el superávit sería de 16.1 Hm³ en cinco años y de 35.5 Hm³ en 20 años.
5. Si se reduce la demanda un 30% y se aumenta la capacidad de almacenamiento, el superávit registrado podría ser de 22.0 Hm³ en cinco años y de 48.5 Hm³ en 20 años.

Conclusiones

Pese a las limitantes a las que están sujetos los modelos indirectos de cálculo de las componentes del balance hídrico anual, éstos constituyen una herramienta importante para evaluar el efecto de modificaciones en el ambiente por el cambio de la gestión del agua sobre la respuesta hidrológica de una cuenca.

El auxilio en herramientas de análisis conjunto de la gestión de los recursos hídricos de una cuenca permite a los tomadores de decisiones tener una mayor comprensión del funcionamiento del sistema de explotación y de las repercusiones a distintos escenarios temporales sobre la implementación de una u otra solución para el abastecimiento sustentable de agua destinada a los distintos usos antropogénicos y estrechamente relacionada con las necesidades ambientales del propio sistema. Finalmente, algunos de los resultados de la simulación hídrica conjunta son:

- Por la complejidad de los acuíferos y la falta de más datos para su calibración, sólo se analizó de manera simplificada el acuífero de San Miguel de Allende, que es la principal fuente de aportación subterránea para las zonas agrícolas y rurales en la zona.
- La reducción del consumo hídrico se ve reflejado de forma directa en el abastecimiento agrícola y urbano, siendo posible con la tecnificación, ahorro y uso racional del recurso.

- Se propone realizar acciones de prevención, cuidado y rehabilitación de zonas de recarga y considerar que el agua utilizada en las partes bajas de la subcuenca son abastecidas por la recarga que se genera en las zonas demarcadas como de importancia crítica para la recarga de acuíferos (bordos, lomeríos y barrancos ubicados en la parte alta y media de la cuenca).
- Un mayor número de escenarios analizados permitirá tener un panorama del uso de los recursos y su respuesta ante las acciones externas de sus usuarios y tomadores de decisiones.

Referencias

- Andreu, J., Solera, A., Capilla, J., & Ferrer, J. (2007). *Modelo SIMGES de Simulación de la Gestión de Recursos Hídricos, incluyendo Utilización Conjunta. Manual del Usuario* (225 pp.). Valencia: Editorial UPV.
- Aquatool DMA (2007). *Manual de usuario español. Directivas de Manejo del Agua de la Unión Europea en el sistema Aquatool DMA* (263 pp.). Valencia: Editorial UPV. Recuperado de <http://www.iiama.upv.es:8080/aquatool/aquatooldma>.
- Aquival (2007). *Módulo para el pre-proceso y simulación de acuíferos* (55 pp.). Valencia: Editorial UPV. Recuperado de <http://www.upv.es/aquatool/>.
- Conagua (2007). *Estadísticas del agua en México* (248 pp.). México, DF: Comisión Nacional del Agua. Recuperado de http://cna.gob.mx/CONAGUA08/News/PNH_08.pdf.
- IEEG (2007). *Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato* (138 pp.). Guanajuato, México: Gobierno del Estado de Guanajuato. Recuperado de <http://ecologia.guanajuato.gob.mx/prevencion/licencia.php>.
- López, J. (1993). *Restitución de datos de aforo al régimen natural. Conceptos y métodos para la planificación hidrológica*. Barcelona: Editorial CIMNE.
- SIMGES (2007). *Manual de usuario SIMGES. Modelo de simulación de la gestión y el manejo hídrico, incluyendo el uso conjunto del agua superficial y subterránea* (106 pp.). Valencia: Editorial UPV, Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente. Recuperado de <http://www.iiama.upv.es:8080/aquatool/Members/asolera/SIMGE2usr300.pdf>.
- Témez, J. (1977). *Modelo matemático de transformación precipitación-aportación* (12 pp.). Reporte técnico. Madrid: ASINEL.

Dirección institucional de los autores

Dr. Mario A. Hernández H.

Doctorado en Ingeniería del Agua y Medioambiental
Universidad Politécnica de Valencia
Camino de Vera s/n
46022 Valencia, ESPAÑA
malbher@upv.es

Dr. Alfredo Amador García

Facultad de Biología
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Av. Fco. J. Múgica s/n, Felicitas del Río
58040 Morelia, Michoacán, MÉXICO
amador.umich@gmail.com

Dra. Sonia T. Sánchez Quispe

Facultad de Ingeniería Civil
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Av. Fco. J. Múgica s/n, Felicitas del Río
58040 Morelia, Michoacán, MÉXICO
soniatsq@hotmail.com

Dr. Abel Solera Solera

Instituto de Ingeniería del Agua y Medioambiente
Universidad Politécnica de Valencia
Camino de Vera s/n
46022 Valencia, ESPAÑA
asolera3@upv.es