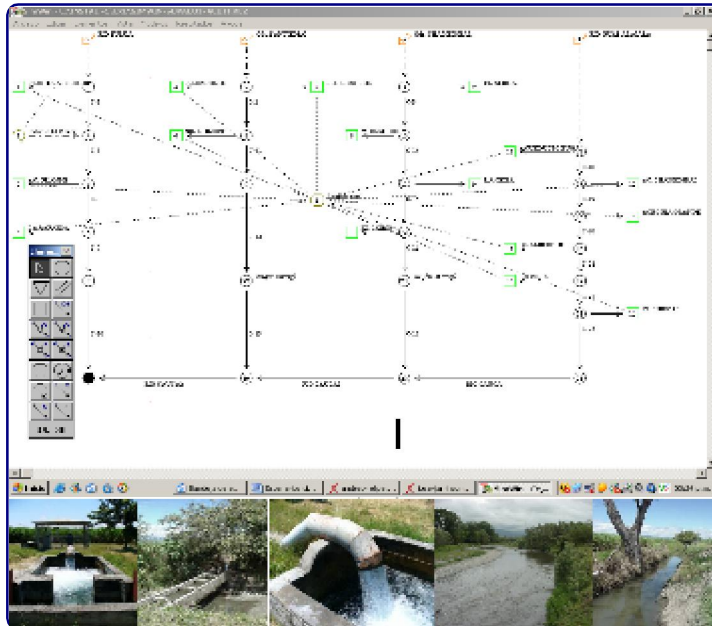


IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA SOPORTE A LA DECISIÓN AQUATOOL EN LA ZONA CENTRO DEL DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA



RESUMEN

María Mercedes Gutiérrez Enríquez, Ing.
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca.
CVC.Cali - Colombia
maria-mercedes.gutierrez@cvc.gov.co

Héctor Fabio Aristizábal Rodríguez, Ing.
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca.
CVC.Cali - Colombia
hector-fabio.aristizabal@cvc.gov.co

Se evaluó el Sistema Soporte a la Decisión SSD AQUATOOL, desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia (España). Esta herramienta presenta una alternativa en la gestión de los recursos hídricos para evaluar escenarios de planificación de uso conjunto de agua superficial y subterránea.

Con base en el modelo matemático AQUATOOL se formularon escenarios técnicos enfocados a la satisfacción eficiente de las demandas en una zona del departamento del Valle del Cauca – Colombia, partiendo de un esquema base de oferta – demanda, en el cual sólo se incorporaron las demandas establecidas en las reglamentaciones de cada corriente y los ríos de la zona como única fuente de aportación. En la parte superficial, la zona se caracteriza por tener ríos de régimen torrencial, no regulados. Se cuenta con estudios a nivel de factibilidad de embalses de regulación para la zona. Con base en

* Recibido : Agosto 3 2007 * Aceptado : Octubre 15 2007

este esquema inicial se plantearon alternativas en las cuales se adicionó el bombeo del acuífero y los estudios de embalses proyectados como fuentes de suministro suplementario, con los cuales se busca obtener la mejor garantía de satisfacción de las demandas actuales y futuras.

PALABRAS CLAVES

Aquatool, uso conjunto, Sistema Soporte a la Decisión.

ABSTRACT

The decision support system AQUATOOL, created by the Polytechnic University of Valencia (Spain), represents an alternative for water resources management for it makes it possible to evaluate planning scenarios for the use of both surface and groundwater. For the evaluation of this tool, the application zone chosen was the Central Region of the Valle del Cauca State in Colombia.

With the mathematical model AQUATOOL technical scenarios were formulated focused on the efficient satisfaction of demands in the zone, based on a supply - demand scheme, in which only real demand was included in the regulations for the use of every stream. As far as surface waters are concerned, a special feature of the State concerns its torrential flow rivers, not regulated. Though there are feasibility studies for regulation dams in the zone.

Based on this initial scheme several alternatives were presented: aquifer swell and study of dams projected as complementary supply resources, aiming to greater satisfaction of present and future demands.

KEYWORDS

Aquatool, general use, decision support system.

1. INTRODUCCIÓN

El modelo matemático AQUATOOL, permite formular planes o escenarios técnicos enfocados a la satisfac-

ción eficiente de las demandas de una población, que en este caso es principalmente agrícola, mediante proyectos hidrológicos y estructurales, que combinados con los conocimientos técnicos y de ingeniería de los profesionales de la Corporación, pueden ser dirigidos de manera apropiada hacia la utilización conjunta de los recursos hídricos de cualquier zona del departamento, generando grandes beneficios ambientales y de la población con un funcionamiento efectivo de los sistemas hidráulicos.

Para generar los escenarios técnicos de planificación que satisfagan las demandas de la zona, se realizó inicialmente un reconocimiento de las características de oferta y demanda superficial y subterránea, necesarias para diseñar los esquemas básicos y el planteamiento de alternativas de abastecimiento de las demandas, utilizando cada uno de los módulos. Los escenarios técnicos de mayor eficiencia se utilizó inicialmente el módulo Optiwin (Optimización) como una herramienta de filtrado de los escenarios más óptimos y posteriormente el módulo Simwin (Simulación), para simular cada uno de los esquemas seleccionados de manera más detallada.

Adicional a los módulos con los cuales se diseñaron los esquemas de optimización y simulación, se utilizó el módulo Mashwin para generar series sintéticas de caudal de cada uno de los ríos y quebradas localizados en el área, la cual podrá ser utilizada para plantear escenarios futuros.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Zona de Estudio

El área de estudio se localiza en el Departamento del Valle de Cauca al suroccidente de Colombia; sus rasgos fisiográficos están definidos por las cordilleras Central y Occidental del sistema andino entre dos grandes vertientes hidrográficas; la del Pacífico y la del Caribe. El área en la cual se desarrolla la aplicación de la herramienta Aquatool se localiza en el centro departamento, y está comprendida entre los ríos Tuluá y Guadalajara, el piedemonte de la Cordillera Central y el río Cauca (Figura

1). La zona de estudio presenta un área total de aproximadamente 220 Km², constituidos por la zona plana de las cuencas del río Tuluá, el río Guadalajara y la quebrada San Pedro.

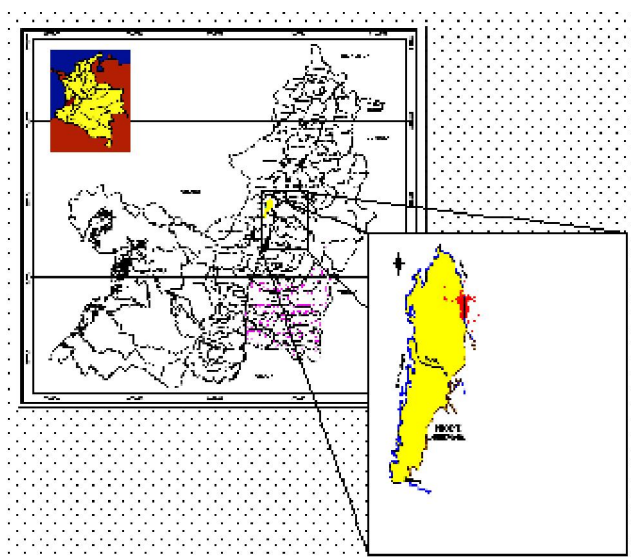


Figura 1 Localización zona de estudio

2.2 Recopilación de la información

La información de oferta superficial, corresponde a las series históricas de caudal de los principales ríos y quebradas de la zona.

Esta información fue tomada de las estaciones Mateguadua y El Vergel, localizadas en el río Tuluá y el río Guadalajara respectivamente.

Las series de caudal para las quebradas San Pedro y Chambimbal, fueron generadas con el modelo lluvia – escorrentía HBV utilizado por la CVC, para un período comprendido entre el año 1972 y el año 2005.

La oferta subterránea se definió de acuerdo a las principales características geológicas e hidráulicas del acuífero encontradas en la información de estudios, trabajos de reconocimiento (CVC, 2002) y asesoría de profesionales especializados en el área de aguas subterráneas de la CVC.

Las demandas consideradas en los esquemas corresponden a las derivaciones principales definidas en la reglamentación de los ríos Tuluá (CVC, 2003) y Guadalajara (CVC, 2000) y las quebradas San Pedro y Chambimbal (CVC, 2002), como los puntos desde los cuales se abastecen el total de los requerimientos que de ellas se ramifican.

2.3 Embalses de regulación proyectados

Dentro de la esquematización de algunos escenarios se plantea como alternativa de abastecimiento el uso de embalses de regulación, basado en los diseños propuestos en el Proyecto de Embalses de Regulación (CVC – IRH, 1998).

Los embalses proyectados de acuerdo al estudio mencionado se localizarían en las cuencas San Pedro y Chambimbal, con dos alternativas de diseño para cada una.

Embalses Qda. San Pedro

Alternativa SP1

La capacidad del embalse en el nivel máximo normal de 1145 msnm, dejando un borde libre de 5 m, es de 19 hm³, y el área inundada, de 80 hectáreas.

Alternativa SP2

En la cota 1165 msnm, con un nivel máximo normal, con borde libre de 5 m, el volumen total del embalse es de 24,9 hm³ y el área inundada, de 100 hectáreas.

Embalses Qda. Chambimbal

Alternativa CH1

El embalse al nivel máximo normal de 1097 msnm, tendría un volumen de 48,2 hm³ e inundaría un área aproximada de 200 hectáreas.

Alternativa CH2

El volumen embalsado al nivel máximo normal de 1110 msnm sería de 52,9 hm³ y se inundarían cerca de 219 hectáreas

3. METODOLOGIA

3.1 Modelo Soporte a la Decisión Aquatool

El sistema soporte a la decisión AQUATOOL fue desarrollado en la Universidad Politécnica de Valencia, como una herramienta pensada para la gestión integral de cuencas incluyendo la utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas. La estructura general del sistema AQUATOOL, como se muestra en la Figura 2, está conformada por varios módulos: Optiwin

(Optimización), Simwin (Simulación), Aquival (Acuíferos) y Mashwin (Series Sintéticas) (Andreu. J).

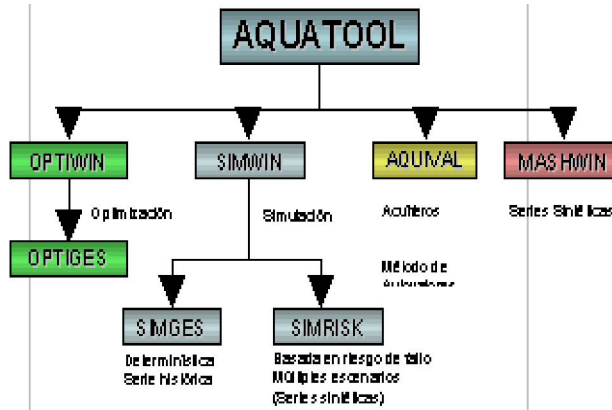


Figura 2 Estructura general del sistema soporte a la decisión Aquatool

3.2. Planteamiento de los esquemas - Optiwin

Una vez consideradas las características básicas del recurso hídrico superficial de la zona (oferta, demanda, conducciones, embalses y elementos de retorno), se procedió con el planteamiento de escenarios desde el más simplificado, considerando únicamente las fuentes de oferta y demanda principales, hasta los esquemas que consideran la inclusión de embalses. El proceso y ejecución de los módulos fue realizado utilizando las guías publicadas en la página Web de la Universidad Politécnica de Valencia.

Esquema inicial

En este escenario se presentan como oferta las cuatro aportaciones principales (río Tuluá, río Guadalajara, Qda. San Pedro y Qda. Chambimbal). Las demandas corresponden a las derivaciones de cada corriente superficial; cada una de estas demandas y aportaciones están conectadas a través de conducciones y nudos definidos en el módulo. Cada una de las conducciones utilizadas para representar el flujo de los ríos y quebradas entre punto y punto presentan como restricción contener durante todo el período el valor de caudal base. El esquema del escenario inicial se presenta en la figura 3.

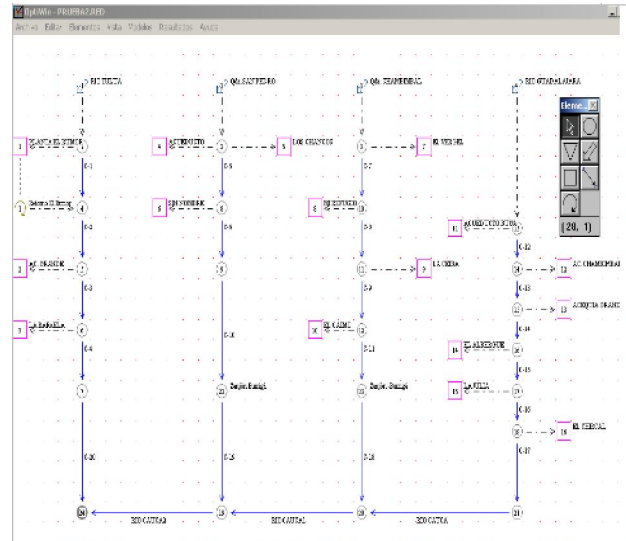


Figura 3 Esquema del escenario inicial

Escenarios alternativos

En la búsqueda de alternativas de satisfacción de las demandas de la zona, se propusieron en total 17 escenarios, en los cuales se incluyen embalses proyectados, eficiencias de satisfacción de las demandas y demandas potenciales. Los escenarios planteados son los siguientes:

- Escenario 0: Esquema inicial
- Escenario 1: Reducción de las demandas en un 50%
- Escenarios 2 y 3: Embalses de regulación en la Qda. San Pedro.
- Escenario 4: Variación de los caudales en la Qda. Chambimbal.
- Escenario 5 y 6: Embalses de regulación en la Qda. Chambimbal.
- Escenario 7: Embalses Qda. San Pedro – Qda. Chambimbal.
- Escenario 8: Embalse de menor dimensión en la Qda. San Pedro.
- Escenario 9: Embalse en la Qda. San Pedro (SP1) para Tuluá y San Pedro.
- Escenario 10: Embalse en la Qda. San Pedro (SP1) para toda la zona.
- Escenario 11: Embalse en la Qda. San Pedro (SP2) para Tuluá y San Pedro.
- Escenario 12: Embalse en la Qda. San Pedro (SP2) para toda la zona.
- Escenario 13: Demandas calculadas para uso potencial.
- Escenario 14: Embalse en la Qda. Chambimbal

(CH1) para toda la zona.

- Escenario 15: Embalse en la Qda. Chambimbal (CH2) para toda la zona.
- Escenario 16: Embalse en la Qda. Chambimbal (CH2) para las demandas potenciales.
- Escenario 17: Embalses SP2 y CH2 para las demandas potenciales.

3.3 Planteamiento de los esquemas - Simwin

Para el planteamiento de los esquemas en el módulo Simwin se tomaron los escenarios seleccionados de acuerdo a los resultados obtenidos en el módulo Optiwin. A estos escenarios se les incorporaron elementos de tipo subterráneo como acuíferos, recargas y bombeos, para formar un sistema basado en el uso conjunto del recurso hídrico.

La fuente de abastecimiento subterráneo en los esquemas de uso conjunto esta representada por el acuífero de la zona, para esto se utilizaron dos de los cinco tipos de acuíferos encontrados en el módulo Simwin. Las opciones utilizadas fueron:

Acuífero rectangular homogéneo conectado a un río y acuífero tipo depósito. Las características del acuífero se determinaron mediante los análisis y estudios hidrogeológicos realizados por la CVC y son las siguientes:

Recarga total = 50.3 Hm³/año

Vol. Umbral (60% de la recarga) = 30.2 Hm³/año

Vol. Inicial = 1427.1 Hm³

Máx. Caudal de bombeo = 1 Hm³/mes

Espesor = entre 60 m y 150 m

Ancho promedio = 8 Km

Conductividad promedio = 550 m

El aprovechamiento del acuífero se definió por un caudal máximo de bombeo de 1 Hm³/mes, tomando como base las lecturas consumo, realizadas semestralmente en los pozos de producción de la zona.

El esquema base de uso conjunto corresponde al es-

nario inicial con la inclusión del acuífero de tipo rectangular homogéneo, como se presenta en la figura 4.

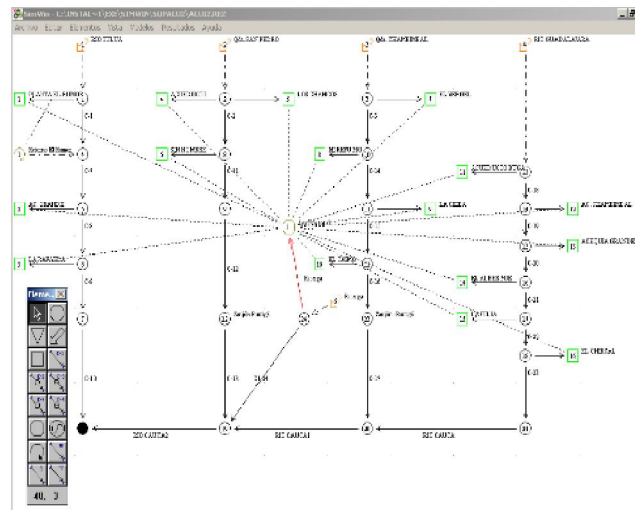


Figura 4 Esquema del escenario inicial con acuífero

Adicional al acuífero se construyeron escenarios que incluyen los embalses proyectados como alternativas suplementarias de almacenamiento y abastecimiento. En este módulo el elemento embalse se entrega con información más detallada y, por lo tanto, se obtienen resultados más específicos y ajustados. El listado de escenarios construidos en Simwin es el siguiente:

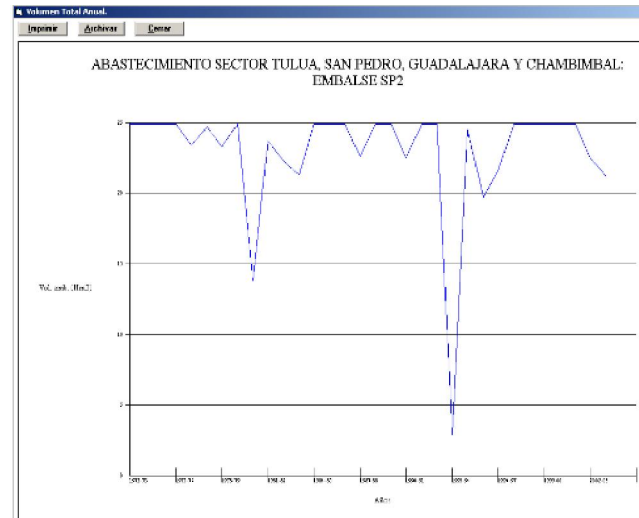
- Escenario 0 o inicial: esquema superficial
- Escenario 1: Acuífero como alternativa de abastecimiento
- Escenario 2: Embalse SP1 para las demandas de todo el sector
- Escenario 3: Embalse SP1 para las demandas de Tuluá y San Pedro y el acuífero para las demandas en Guadalajara y Chambimbal
- Escenario 4: Embalse CH1 para las demandas de todo el sector
- Escenario 5: Embalse CH1 para las demandas de Tuluá y San Pedro y el acuífero para las demandas en Guadalajara y Chambimbal
- Escenario 6: Embalse de menor dimensión en la Qda. Chambimbal y acuífero para Tuluá y San Pedro

3.4 Generación de Series sintéticas - módulo Mashwin

El módulo Mashwin, como se mencionó anteriormente en la descripción del SSD Aquatool, permite a partir del

registro de series hidrológicas históricas y un proceso estadístico basado en un modelo de regresión de media móvil, generar series sintéticas para períodos futuros, que pueden ser utilizadas para plantear escenarios de predicción.

Las series históricas utilizadas, corresponden a las registradas en las estaciones Mateguadua (río Tuluá) y El Vergel (río Guadalajara) y las generadas mediante el modelo HBV para las quebradas San Pedro y Chambimbal, en un período comprendido entre los años 1972–2005. Con estas series históricas, un proceso de normalización y la aplicación del modelo estocástico de mejor ajuste, se generaron 3 series sintéticas para cada una de estas corrientes, en un período de 30 años comprendido entre los años 2005 y 2035.



escenario 7b

4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1 Resultados Módulo Optiwin

En los escenarios de optimización diseñados en el módulo Optiwin para oferta y demanda de recurso hídrico superficial, en los que se utilizaron las fuentes naturales de aportación (ríos y quebradas) y los embalses como alternativas de abastecimientos, se encontró como resultado, que los mayores porcentajes de garantía de satisfacción de las demandas y por lo tanto el menor número de fallos, se encuentra en los escenarios 7b (CH2 – SP2), 12 (SP2 para todo el sector), 14 (CH1 para todo el sector) y 15 (CH2 para todo el sector), obteniéndose el mayor porcentaje promedio de garantía mensual en este último, en el cual se utiliza el embalse de mayor capacidad (CH2) para abastecer las demandas de todo el sector.

Como muestra de los resultados entregados por el módulo para el análisis de resultados, se presenta en la Figura 5 el comportamiento del embalse SP2 en el escenario 7b, que presenta un mínimo volumen almacenado en el período 1993–1994 y un total de 233.3 Hm³, con descensos mas marcados en este mismo período y entre los años 1980–1981. Este embalse presenta en total 311 llenados (81%) y 1 vaciados.

4.2 Resultados Módulo Simwin

Como resultado de la simulación de los 7 esquemas o escenarios realizados en el módulo Simwin, se encontró que los escenarios 4, 5 y 6 representan la mejor alternativa de satisfacción de las demandas, siendo el escenario 4 el de mayor porcentaje de garantía de satisfacción con un 99.7% y 2 fallos en promedio, comportándose como el resultado mas homogéneo para todo el sector. El escenario 6, en el cual se buscó optimizar la capacidad del embalse CH1 para abastecer las demandas en Guadalajara y Chambimbal y el suministro subterráneo para las demandas en Tuluá y San Pedro, se encontraron muy buenos resultados que pueden ser aplicados para generar grandes beneficios económicos y ambientales en la zona.

En el escenario 1, con acuífero rectangular homogéneo, al observar la relación entre la recarga y el bombeo en el acuífero para el año 1993–1994, se encuentra una recarga total de 32.8 Hm³/año y un bombeo de 17.5 Hm³/año, siendo septiembre el mes con el registro de bombeo más elevado con un valor de 4.11 Hm³/mes. Los valores obtenidos para este año indican que el bombeo alcanzó un porcentaje de aproximadamente el 35% del volumen total de recarga.

Las marcadas variaciones del volumen almacenado en el acuífero de tipo rectangular homogéneo en el escenario 1, durante el período comprendido entre los años 1993–1994, se presentan en la Figura 6.

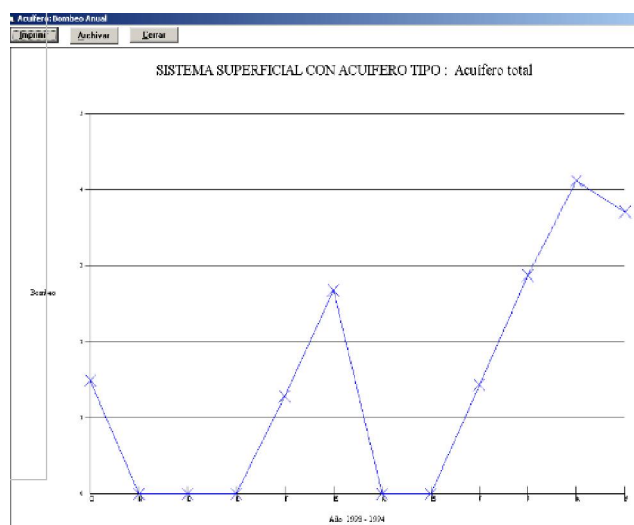


Figura 6 Variación del volumen del acuífero rectangular homogéneo en el escenario 1

5. CONCLUSIONES

- Los resultados encontrados permiten reconocer la importancia y beneficio del uso conjunto del recurso superficial y subterráneo para satisfacer las demandas de una población, obteniendo mejores eficiencias y beneficios ambientales, lo cual a través de una buena planificación y un plan de manejo adecuado pueden ser la mejor solución para los problemas de desabastecimiento de muchas poblaciones.
- Con base a los escenarios planteados es posible evaluar de manera preliminar las capacidades de almacenamiento con las cuales se diseñan los embalses de acuerdo a los requerimientos hídricos de las demandas, logrando identificar diseños con dimensiones superiores a las necesarias, evitando un posible sobrecosto en construcción y los impactos ambientales ocasionados por este tipo de estructuras.
- Para realizar el planteamiento esquemas o escenarios de planificación, se debe contar con una buena caracterización de la oferta y demanda superficial y subterránea de la zona y en lo posible la participación de las personas expertas en la gestión de los recursos hídricos.

Para estudios posteriores se recomienda contar con la aplicación del módulo Aquival, con el cual a través de un modelo distribuido se puede realizar una mejor caracterización de los acuíferos, permitiendo plantear escenarios de uso conjunto más ajustados y detallados.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andreu. J. Modelo OPTIGES de optimización de la gestión de esquemas de recursos hídricos (Manual de usuario). Universidad Politécnica de Valencia. España.
www.upv.es/iiaa
- Andreu. J. et al. Modelo SIMGES de simulación de la gestión de recursos hídricos, incluyendo utilización conjunta (Manual de usuario). Universidad Politécnica de Valencia. España www.upv.es/iiaa
- Andreu. J. et al., *Aquatool* - Sistema soporte a la decisión para la planificación de recursos hídricos (Manual de usuario). Departamento de ingeniería hidráulica y medio ambiente. Universidad Politécnica de Valencia. España
www.upv.es/iiaa
- Corporación autónoma Regional del Valle del Cauca (2000). Plan de manejo para la protección de las aguas subterráneas en el departamento del Valle del Cauca. Colombia.
- Corporación autónoma Regional del Valle del Cauca (2000). Reglamentación del río Guadalajara (*Resolución No. SGA 415*). Colombia.
- Corporación autónoma Regional del Valle del Cauca (2002). Reglamentación de la quebrada San Pedro (*Resolución No. SGA 014*). Colombia.
- Corporación autónoma Regional del Valle del Cauca (2003). Reglamentación del río Tuluá (*Resolución No. SGA 006*). Colombia.
- Ingeniería y Recursos Hídricos (IRH Ltda) – Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. (1998). Estudio de embalses de regulación – Regulación del río Tuluá (Volumen 3). Contrato 7036-96. Colombia.