CAPÍTULO QUINTO.
SIMULACIÓN DE ACUÍFEROS EN EL MÓDULO DE SIMULACIÓN DE LA GESTIÓN DE CUENCAS CON UTILIZACIÓN CONJUNTA.

Ejercicio propuesto.

En el sistema de explotación descrito en el capítulo primero, se pretende garantizar el suministro de la demanda agrícola "El Naranjo" mediante la instalación de pozos de bombeo sobre un acuífero aluvial en conexión con el río en un tramo comprendido entre el Azud Grande y la ICA situada aguas abajo del vertido.

Del acuífero se estima que tiene una anchura media de unos 6 km, y longitud de 20 km, un coeficiente de almacenamiento de 0.1 y transmisividad de 1000 m^2/dia

La recarga del acuífero por lluvia se estima en unos 100 mm/año. Aunque no se dispone de una serie de datos más precisos.

Se considera dos opciones para la construcción de los pozos (ver figura) la primera "pozos 1" se situarían entre 1 y 2 km de distancia del río y a 4 km de la parte más alta, y la segunda "pozos 2" a más de 5 km del río y a 10 km del inicio.

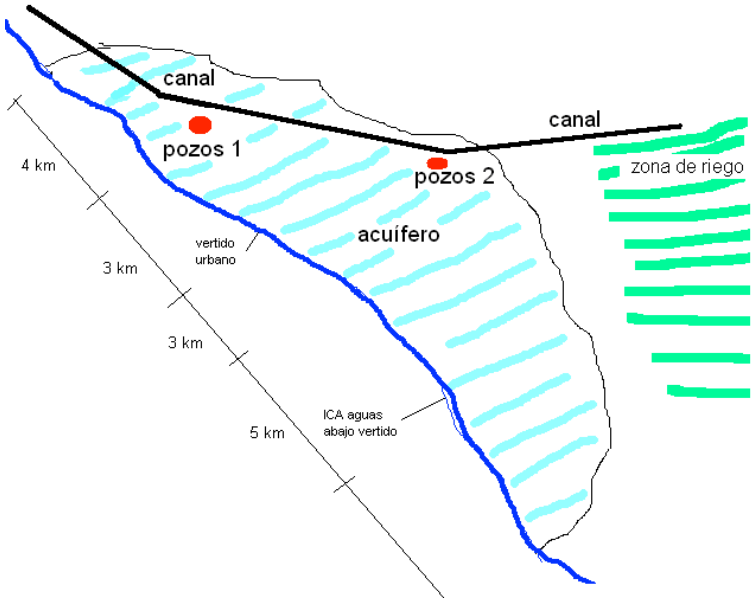


Figura 120: Esquema de la zona del acuífero.

1. Descripción del problema.

En el modelo desarrollado no era necesario reflejar este acuífero porque queda aguas abajo del último punto en que se deriva agua del río. Desde el punto de vista del modelo de calidad de aguas sí podría ser útil haber reflejado la aportación natural del tramo de río en contacto con el acuífero. Pero dado que no se dispone de datos y se estima que esta aportación es pequeña[3] en comparación con los caudales del río, y por esto no supondría un error a considerar en los resultados.

Al plantear la instalación de bombeos en el acuífero por un caudal muy superior a su recarga media (la demanda a servir es de 80 hm^3/año) se entiende que se espera que el acuífero se recupere detrayendo caudal del río. Esto tendrá inevitablemente consecuencias sobre el caudal del río, y obligará a utilizar la regulación del embalse para mantener un caudal mínimo en el río.

En este ejercicio se analizará las posibles consecuencias de esta actuación y las consecuencias que tendrá sobre la gestión del embalse y sobre la garantía del resto de demandas.

[3] La aportación del acuífero al río sería de 100e-3*5e3*20e3*1e-6 = 10 hm^3/año. A esto se agregaría la escorrentía superficial, pero como se da solo en invierno en que el caudal es mucho más alto, queda dentro del margen de error en los datos de las aportaciones aguas arriba.

2. Modelación del acuífero.

La primera cuestión a resolver es la elección del modo de simular el acuífero.

En simulación de cuencas es habitual recurrir a un modelo del tipo "unicelular" para simular el efecto de los bombeos en un acuífero sobre su relación con el río (Andreu, 1983)[4].

$$V_n = V_{n-1} e^{-\alpha t} + \frac{R_n}{\alpha}(1 - e^{-\alpha t}) \qquad (1)$$

$$Q_n = \alpha V_n = Q_{n-1} e^{-\alpha t} + R_n(1 - e^{-\alpha t}) \qquad (2)$$

Donde: (V_n) representa el volumen almacenado a final del mes 'n' por encima del nivel de descarga al río; (Q_n) el caudal desaguado al río durante el mes 'n'; (R_n) la recarga recibida por el acuífero durante ese mes; y (α) el parámetro de desagüe del acuífero.

Este modelo tiene la ventaja de que requiere de un solo parámetro (α) que podría ser aproximado a partir de datos de aforo en el río.

La segunda opción consistiría en calibrar un modelo del acuífero de parámetros distribuidos, en el cual podría representarse los bombeos en su localización correcta y se obtendría los resultados de detracción de caudal del río distinguiendo en los tramos que sea de interés. El modelo SIMGES permite la simulación de acuíferos por el método de los autovalores (Andreu y Sahuquillo, 1987)[5] . Además AQUATOOL incluye el módulo AQUIVAL que facilita el cálculo de los parámetros para dicho modelo a partir de la descripción de una modelación del acuífero mediante el método de diferencias finitas.

A continuación se presenta la modelación por cada uno de los dos procedimientos mencionados.

2.1. Cambios en el modelo para incluir el acuífero.

Para incluir el modelo del acuífero junto con los bombeos en el modelo de la cuenca se aplica los cambios que se describen a continuación. La Figura 121 representa una copia del esquema de simulación del sistema con la inclusión del modelo del acuífero.

[4] Andreu, J. "Modelos agregados y distribuidos. Modelos unicelulares. Modelos Glover-Jenkins", en "Utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas", ed. por M. Varela, SGOP., Madrid, 1983

[5] Andreu, J. y A. Sahuquillo. "Efficient Aquifer Simulation in Complex Systems", Journal Water Planning and Management. Vol. 113, No.1, 1987.

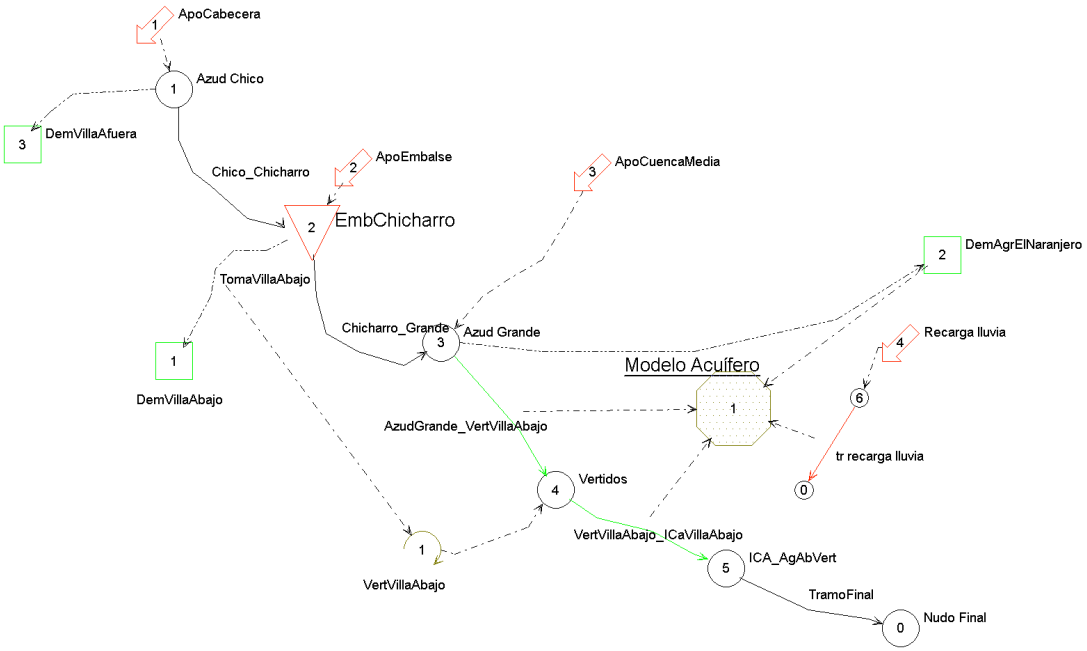


Figura 121: Esquema de simulación del sistema de uso conjunto en aquatool.

2.1.1. representación de los tramos de río conectados con el acuífero.

En primer lugar se tendrá que borrar los tramos de río denominados de "tipo 1" que se dibujaron en el esquema anterior y que ahora se considera que perderán caudal debido a los bombeos, para sustituirlos por tramos de "tipo 3". Estos tramos de río se seleccionan en la barra de herramientas por el botón .

Se va a sustituir los tramos "AzudGrande_ VertVillaAbajo" y "VertVilla Abajo_I CaVillaAbajo". Téngase en cuenta que los nuevos tramos de río no conservan los datos de los que sustituyen, por lo que se tendrá que reescribir los parámetros de calidad.

Las conducciones de "tipo 3", además de los datos que tenían las anteriores, requieren los datos para definir su relación con el acuífero (Figura 122). Estos son los siguientes.

"**Acuífero**": se identifica aquí el acuífero con el que está conectado.

"**Parámetro de control para relación río-acuífero**": cada tipo de modelo de acuífero proporciona distintos tipos de resultados que se denominan "parámetros de control". Aquí se escoge el parámetro que refleja las salidas del acuífero al río. Cada modelo de acuífero proporciona un parámetro de control que refleja el resultado de salidas a río. Para más detalles consulte el manual de simges. En el caso del modelo unicelular, solo tiene 2 parámetros: volumen y caudal, este último es el que debe seleccionarse aquí. En el caso del modelo general en autovalores, este parámetro debe diseñarse con el modelo. El programa solo requiere del usuario la elección del "parámetro de control" en modelos que puede seleccionarse más de uno (como el caso de los autovalores)

"**Acción elemental para control de detracciones imposibles**": este dato solo es necesario para los modelos de autovalores (para el resto de modelos el programa la asigna directamente), y representa la acción elemental sobre la que se descontará el caudal de relación con el río para el caso que el modelo del acuífero resulte un caudal de relación con río negativo y de valor absoluto superior al caudal disponible en el tramo de río para compensar la detracción. Esto es: cuando la *detracción* calculada en el modelo del acuífero sea *imposible* de obtener del río porque no exista el agua en este.

"**Coef. De reparto de la conexión**": el programa permite repartir el resultado del acuífero entre varios tramos de río. La suma de este coeficiente para todos los tramos conectados a un mismo "parámetro de control" debe ser igual a uno.

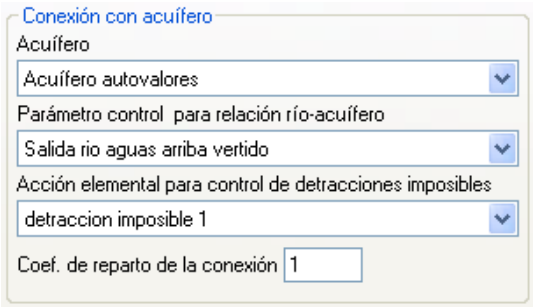


Figura 122: Datos para definir la conexión con acuífero en la ficha de un tramo de río tipo 3.

El completado de esta ficha se describe más adelante según el modelo de acuífero escogido.

2.1.2. Modelo del acuífero.

El acuífero se representa mediante el símbolo que se encuentra en la barra de botones. Al seleccionarlo y hacer click en la pantalla aparece el menú de la Figura 123 donde se escogerá entre el modelo tipo "unicelular" (si se va a simular con un modelo agregado) y el modelo tipo "autovalores" (para utilizar un modelo de parámetros distribuídos)[6]. En primer lugar se va a utilizar el modelo "unicelular" (la edición de sus parámetros se verá más adelante). Después de obtener resultados con este, se sustituirá por un modelo de "autovalores" para evaluar comparativamente las ventajas y limitaciones de cada modelo.

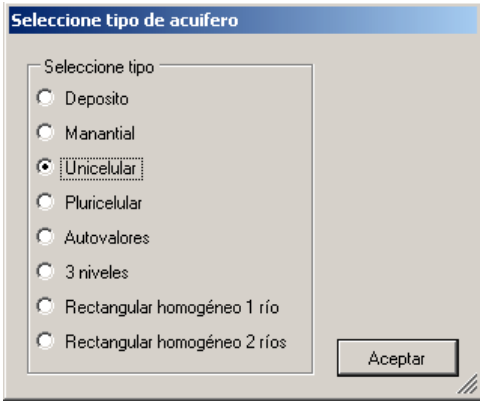


Figura 123: Menú selección de tipo de modelo de acuífero en SIMGES.

2.1.3. Trazar modelo de recarga por lluvia del acuífero.

El programa no permite directamente la definición de datos de recarga natural de un acuífero. Para incluirla, es necesario utilizar un elemento de tipo "aportación" seguido de un tramo ficticio de "tipo 2" al cual se le puede definir coeficientes de filtración al acuífero muy elevados, con lo que toda la aportación infiltrará al acuífero (Figura 124). Los coeficiente A, B y C se aplican a la ecuación: $P=a+b\,Q^c$ (Donde P representa las pérdidas por filtración y Q el caudal de entrada a la conducción).

[6] Los distintos modelos de acuífero que pueden utilizarse se describen en el manual de SIMGES. Aquí se describe solamente el uso de los modelos "unicelular" y "autovalores" para el caso planteado en el ejercicio.

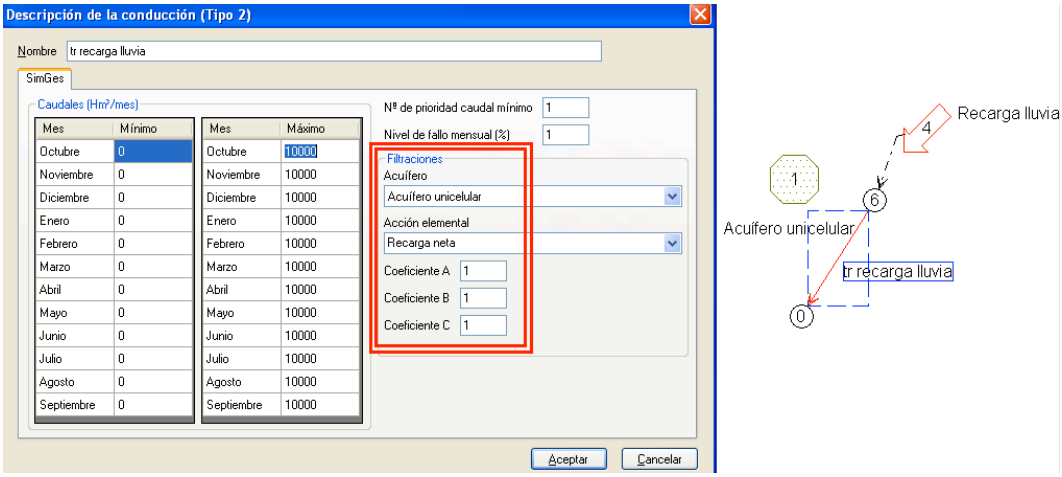


Figura 124: Esquema de recarga por lluvia del acuífero y datos de conducción tipo 2 para recarga.

Para incluir la serie de datos de recarga, puesto que solo se tiene una estimación de la recarga media de 10 hm3/año se debe generar una serie temporal de datos de recarga mensual. Dada la pequeña entidad de esta recarga, por simplificar el trabajo, se ha fijado un valor constante de recarga mensual de 1 hm^3/mes de octubre a julio y cero para agosto y septiembre.

2.1.4. Simulación del bombeo.

El programa permite la simulación de bombeos por dos medios diferentes.

- El primero consiste simplemente en identificar el acuífero como acuífero de bombeo en la ficha de la demanda. Los únicos datos requeridos son la acción elemental sobre la que se aplica el bombeo y el caudal máximo de bombeo (Figura 125). El modelo recurrirá al bombeo cuando no disponga de agua superficial para su suministro. También se puede definir un control de bombeos tal que si un parámetro de control del acuífero alcanza un valor inferior a un límite dado se impide el bombeo.

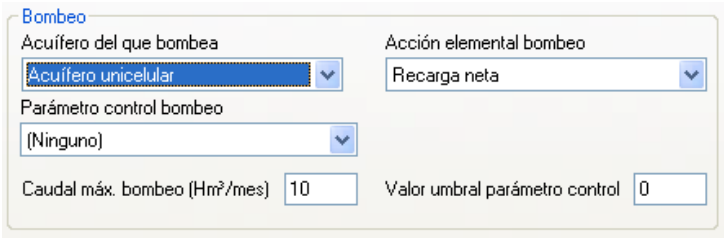


Figura 125: Datos de bombeos en ficha de demanda consuntiva.

- El segundo pasa por definir un elemento tipo "bombeo adicional" que se conecta a un nudo del sistema superficial.

2.2. Modelo agregado.

En primer lugar se va a simular el acuífero mediante un modelo de tipo unicelular. Como ya se ha dicho, este modelo requiere un parámetro (alfa) que determina la "velocidad" de descarga del acuífero al río. No puede haber un método general para calcular este parámetro, porque con él se trata de reflejar el comportamiento de un acuífero complejo sometido a diferentes acciones exteriores. La forma más adecuada de calcularlo sería disponer de una serie temporal de datos de ganancia del tramo de río para calibrar el parámetro. Sin

embargo para este caso no es posible, ya que se va a modelar el efecto de unos bombeos futuros. Solo se podría calibrar un parámetro resultante de la recarga de lluvia, pero esta tiene un valor inferior a lo que se pretende bombear, por lo que no será suficientemente representativo. Para este caso, y por no disponer de más información, se utilizará la expresión con que se calcularía el primer autovalor para un acuífero rectangular: $\alpha = \frac{\pi^2 \cdot T}{4SL^2}$ que daría un valor de 0.02mes^{-1}. La validez del uso de esta expresión para el cálculo de alfa es muy limitada y se explica en Sahuquillo (1981)[7] .

En una primera simulación de la gestión del acuífero se obtiene el resultado que se muestra en la Figura 127. En este puede verse que durante los primeros 10 años de la simulación se va reduciendo el volumen almacenado en el acuífero. Esto es debido a que se parte de una condición inicial del acuífero arbitraria que no tiene que ver con la gestión esperada del acuífero (se puso un valor de volumen inicial = 0). Para evitar resultados dependientes de la condición inicial se debería fijar un valor de volumen inicial similar a los valores simulados para condiciones de explotación normales (en este caso un valor entre -40 y -80 hm^3). Hay que tener en cuenta que tales "condiciones normales" dependen del escenario de bombeos analizado, ya que el acuífero alcanzaría un nivel de equilibrio diferente dependiendo de las acciones exteriores.

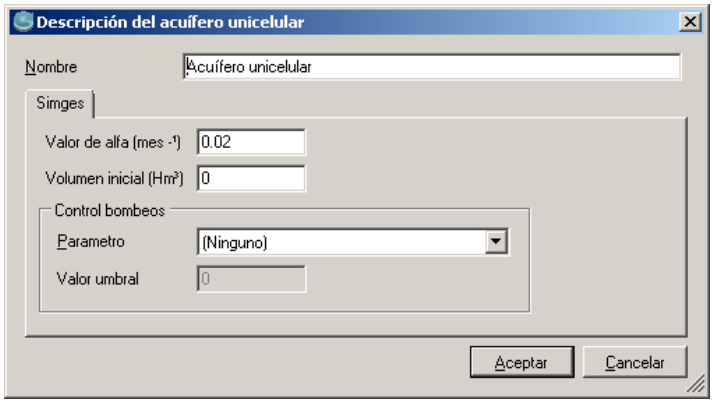


Figura 126: Ficha de datos para el modelo unicelular de acuífero.

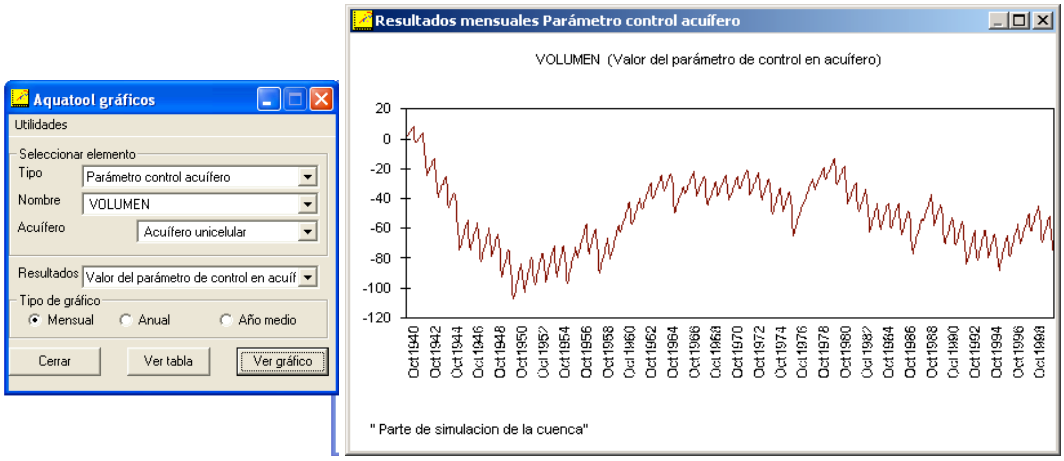


Figura 127: Evolución del volumen en el acuífero en simulación con volumen inicial=0.

[7] Sahuquillo A. "obtención de funciones de influencia sobre los caudales de un río, de los bombeos en un acuífero rectangular homogéneo e isótropo conectado con él". IV asamblea Nacional de Geodesia y Geofísisca. Zaragoza, 1981.

2.3. Modelo distribuído.

Se ha planteado que el acuífero puede asimilarse a una geometría rectangular con parámetros hidrodinámicos constantes. El programa SIMGES permite dos formas de modelar un acuífero rectangular. Mediante el modelo "rectangular conectado con un río" y mediante el modelo de autovalores. La ventaja de utilizar el modelo de autovalores; para este caso, es que permitirá discriminar entre la relación con el río aguas arriba y aguas abajo del vertido, mientras que el modelo rectangular implementado en SIMGES solo proporciona un parámetro de control para la relación con el río en todo su contacto con el río. En este caso se configurará un modelo del acuífero mediante la aplicación AQUIVAL.

2.3.1. Modelación del acuífero con AQUIVAL

Se va a discretizar el modelo del acuífero mediante diferencias finitas dividiéndolo en 6x20 celdas de 1 Km de lado y conectado por uno de sus lados con el río. La simulación se realiza mediante el método de los autovalores utilizando el programa AQUIVAL disponible en la web de Aquatool.

A continuación se describe los datos generales utilizados para la preparación del modelo de simulación del acuífero.

a. Geometría y condiciones de contorno del acuífero.

Para definir la geometría y parámetros hidrodinámicos del acuífero se inicia mediante el menú del programa [Nuevo] o [Guardar como] (Figura 128). El modelo se configura siguiendo de forma ordenada las solapas que figuran en la parte superior de la ventana. En primer lugar (solapa [General]) se define la cuadrícula sobre la que se configura el modelo: en este caso 6 filas, 20 columnas y 1 capa. Se debe finalizar la definición pulsando el botón [Actualizar], que pasará a la siguiente solapa.

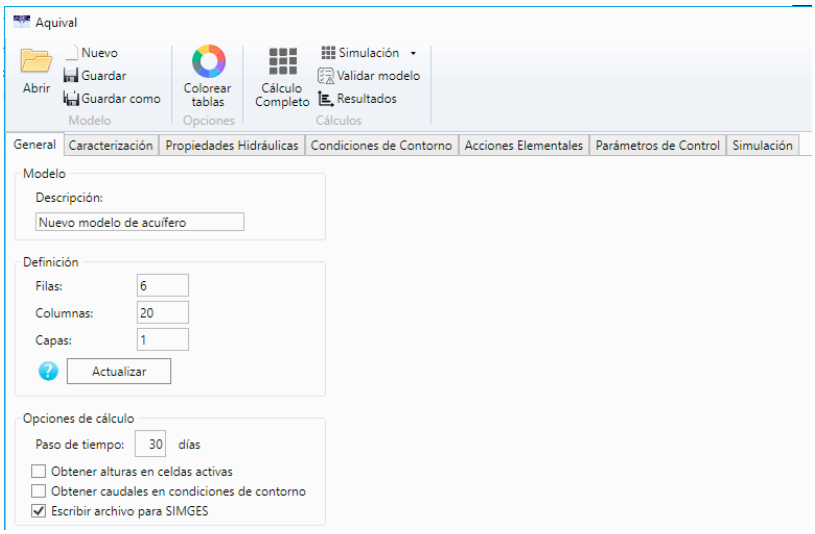


Figura 128: Inicio de un modelo de simulación de acuíferos con AQUIVAL.

En la solapa [Caracterización] se define la geometría de la malla: dimensiones (en metros) y tipología de celdas. Hay tres tipos de celda que se definen por los valores 0, 1 y 2: “Inactiva”=0; “Activa”=1 y “de contorno”=2. Todos los datos a definir en el modelo pueden ser editados con facilidad en una hoja de cálculo y pegados en el programa mediante el portapapeles de Windows. En este caso se define el acuífero rectangular con 6 x 20 celdas de 1 Km de lado cada una (**Figura 129**).

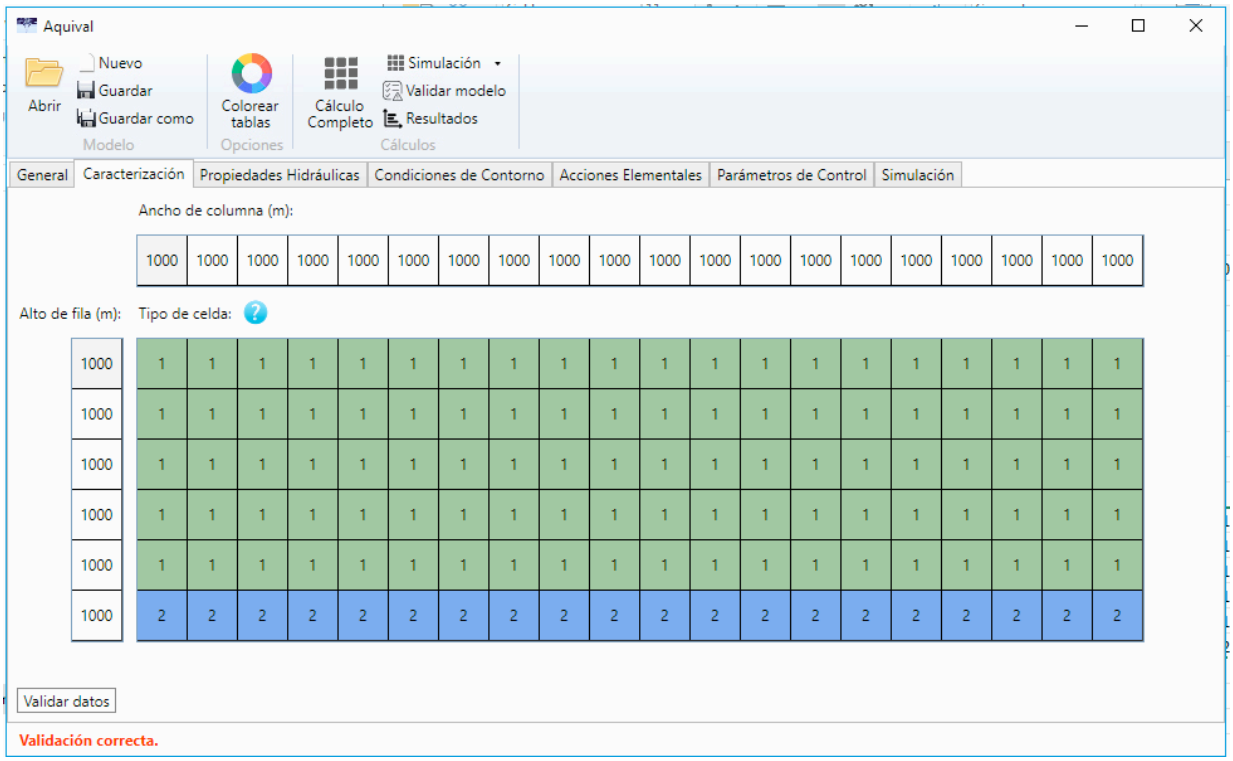


Figura 129: Datos para definir la discretización para un modelo de diferencias finitas en AQUIVAL.

Las propiedades hidráulicas consisten en un matrices de datos de transmisividad o conductividad (con espesor) y coeficientes de almacenamiento. Para este ejercicio se ha dado un valor constante de transmisividad de 1000 m^2/día en ambas direcciones y un coeficiente de almacenamiento de 0.1

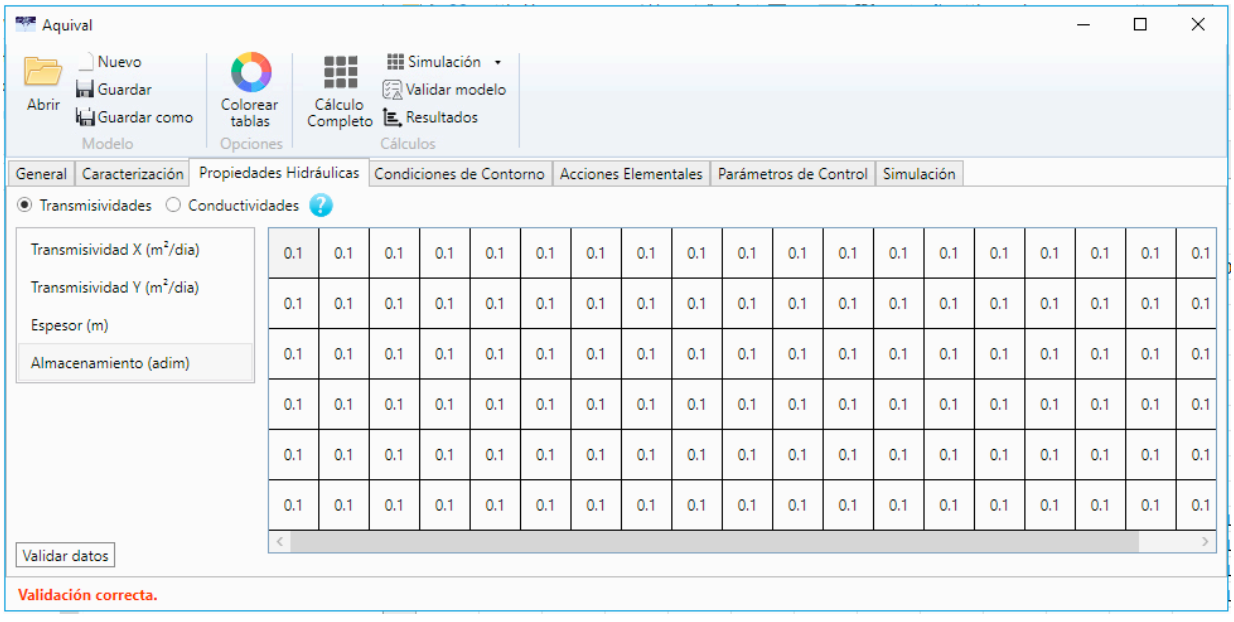


Figura 130: Datos para definir los parámetros hidrodínámicos para un modelo de diferencias finitas en AQUIVAL.

En la solapa [Condiciones de contorno] se caracteriza las celdas con condiciones de contorno no lineales (conexión con río, manantial o nivel externo constante). En este ejercicio no se utilizará esta propiedad.

b. Acciones elementales.

El paso siguiente es la definición de las "acciones elementales". Esto es: cada una de las acciones exteriores que se van a ejercer sobre el acuífero. Como acciones elementales se considera acciones de valor unidad[8], por lo tanto los datos necesarios son la selección de las celdas sobre las que se aplica y el coeficiente de reparto correspondiente a cada una de ellas.

En el ejemplo se ha de definir las siguientes acciones elementales:

1. ***Recarga de lluvia***, con reparto superficial uniforme.
2. ***Bombeo en pozos 1***. Se aplica sobre la celda F5C4 y F4C4.
3. ***Bombeo en pozos lejos***. Se aplica sobre la celda F1C10 y F1C11.
4. ***Detracciones imposibles en tramos de río.*** Estas acciones son necesarias para que el modelo SIMGES descuente del acuífero los valores de caudal de recarga que en ocasiones el modelo debería detraer del río pero no puede hacerlo porque no circula suficiente caudal por este. Se definen 3 acciones en la fila 5, una por cada tramo de río conectado que se define en el modelo SIMGES. Afectan a las columnas 1 a 7, 8 a 15 y 16 a 20 respectivamente.

Para su definición, en primer lugar se da un nombre a cada acción y se pulsa el botón , lo cual abre una nueva tabla para la entrada de los datos de porcentaje de la acción que se asigna a cada celda.

Figura 131: Definición de acciones elementales en AQUIVAL.

c. Parámetros de control.

Los parámetros de control se definen de manera similar a las acciones elementales, pero estos pueden ser de diverso tipo, por lo que además se ha de seleccionar esta propiedad en el desplegable (Figura 132). Según la tipología escogida la definición de datos será diferente.

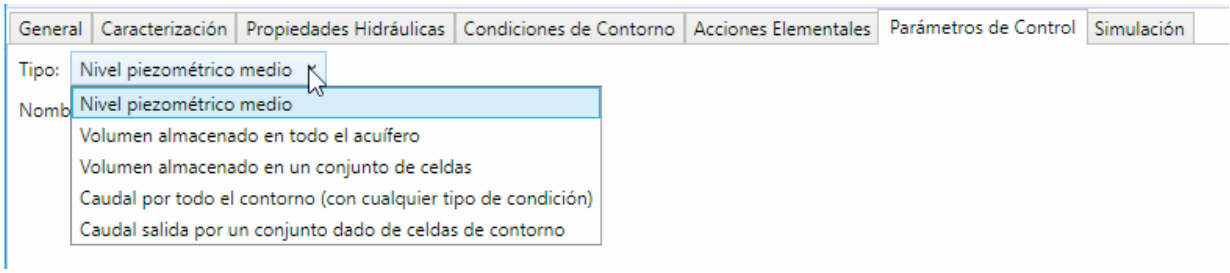


Figura 132: Tipos de "parámetro de control" en AQUIVAL.

[8] El valor real de cada acción será diferente en cada mes de la simulación, por esto es necesario definirlas aquí como acciones unitarias. Téngase en cuenta que el modelo de autovalores es un sistema de ecuaciones lineal.

Se define 7 parámetros de control para evaluar diferentes propiedades del acuífero.

1 ***Volumen almacenado***. Volumen total de agua almacenada en el acuífero.

2 ***Salidas totales al río***. Es el resultado total de caudal de salida al río. Que si fuera negativo indicaría detracción de caudal del río.

3 a 5 ***Salidas a río en cada uno de los tramos definidos.*** El modelo calculará por separado el caudal de relación con el río para cada uno de los tramos definidos.

6 ***Nivel en los pozos cerca del río***.

7 ***Nivel en pozos lejos del río.***

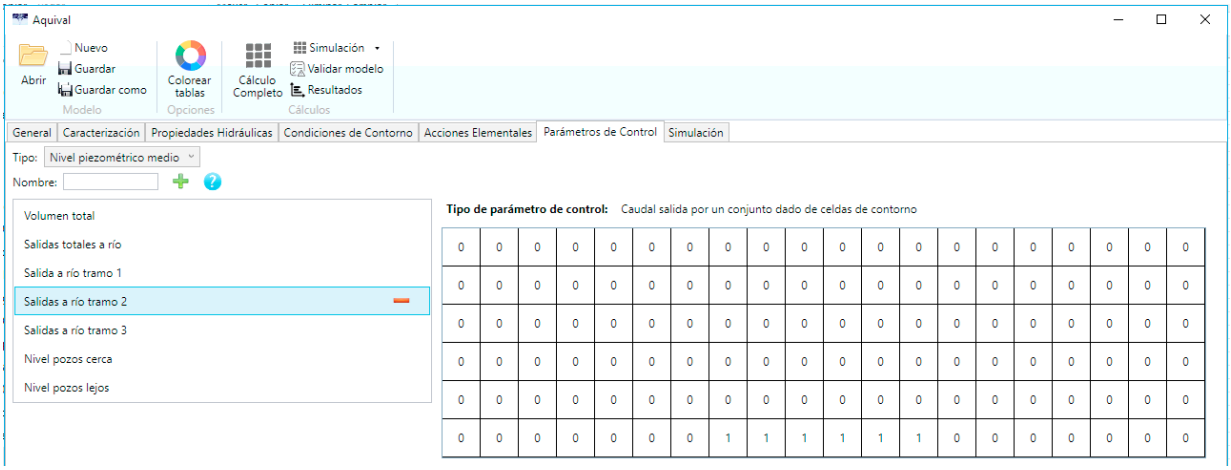


Figura 133: Definición de parámetro de control salida a río en tramo 2.

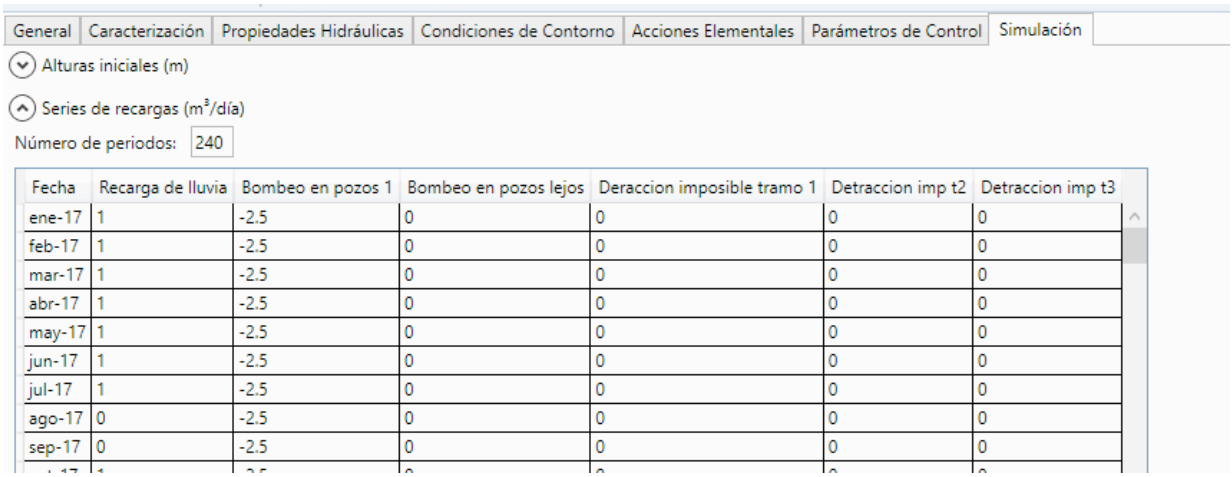
e. Estado inicial del acuífero y simulación con AQUIVAL.

Aquival permite la simulación del acuífero para un periodo de tiempo, lo cual puede ser empleado para la calibración del modelo. También será necesaria esta simulación para obtener los datos de estado inicial del acuífero para la simulación con SIMGES.

Para un caso como el del ejemplo, en que se simula la gestión del acuífero con acciones futuras sería necesario obtener los niveles correspondientes a una situación normal de explotación del acuífero para utilizarlos como dato de estado inicial del acuífero para la simulación con SIMGES. El estado del acuífero en Autovalores se determina por su "vector de estado", que es proporcionado por AQUIVAL para cada mes de la simulación (archivo "*avSimL.txt*"). También se puede obtener las series de niveles piezométricos en todas las celdas indicándolo en la solapa [General] activando la opción "*Obtener alturas en celdas activas*"; estas alturas se escriben en el archivo "Alturas.txt". Este archivo contiene una fila de datos por cada paso de tiempo simulado y una columna por cada celda activa. Las alturas están referidas a la cota 0 correspondiente a las celdas de nivel constante tipo 2 marcadas en la solapa [Caracterización].

Puesto que se pretende estudiar dos modos de gestión diferentes, es necesario calcular 2 estados iniciales. Uno para cada alternativa de localización para los pozos. Como aproximación, con AQUIVAL se ha simulado el acuífero con un bombeo medio de 25 hm^3/año. Esta cifra se ha obtenido de las simulaciones realizadas con el modelo unicelular (Figura 137) en que se calculaba las posibilidades de extracción medias con diferentes valores de caudal de bombeo instalado.

Para realizar la simulación se debe primero definir la serie mensual de acciones elementales mediante la solapa [Simulación] → [Series de recarga] que requiere el número de periodos (en este caso meses) de la simulación (por ejemplo 20 años para lo que se pediré 240 meses) Y dar la serie mensual de intensidades de las acciones elementales (Figura 134). Las series de datos de intensidades pueden prepararse en una hoja de cálculo y pegarlas después en la tabla de datos del modelo. Téngase en cuenta que sea cual sea la escala de tiempo de la simulación, los datos deben ir dados en m^3/día.



Fecha	Recarga de lluvia	Bombeo en pozos 1	Bombeo en pozos lejos	Deraccion imposible tramo 1	Detraccion imp t2	Detraccion imp t3
ene-17	1	-2.5	0	0	0	0
feb-17	1	-2.5	0	0	0	0
mar-17	1	-2.5	0	0	0	0
abr-17	1	-2.5	0	0	0	0
may-17	1	-2.5	0	0	0	0
jun-17	1	-2.5	0	0	0	0
jul-17	1	-2.5	0	0	0	0
ago-17	0	-2.5	0	0	0	0
sep-17	0	-2.5	0	0	0	0

Figura 134: Entrada de datos para la simulación con AQUIVAL.

Los datos de alturas iniciales para la simulación de simges deberían aproximarse a las alturas medias que tendría el acuífero de implementarse el modo de explotación analizado. Por tanto para obtener estas alturas se propone realizar dos simulaciones del acuífero: una con los bombeos previstos en los pozos cerca y la segunda con los mismo en los pozos lejos. Cada una de estas simulaciones proporcionará un archivo de alturas en celdas activas ("Alturas.txt"). A continuación se repetirá cada simulación cambiando los datos de "Alturas iniciales (m)" por los obtenidos en el último mes de la simulación (última línea del archivo de alturas en celdas).

d. Obtención de los datos del acuífero para su uso en SIMGES.

Una vez se ha realizado la simulación de aquival, ya se dispone de todos los datos necesarios para calcular los parámetros del modelo en autovalores para la simulación con SIMGES. Para que aquival produzca los datos para SIMGES, en la solapa [General] debe estar activada la opción "*Escribir archivo para simges*" (**Figura 128**).

El archivo para SIMGES tendrá el nombre "simges.acu" (Figura 135) y se encuentra en el directorio de la simulación del proyecto de AQUIVAL. De acuerdo con lo indicado arriba, debemos guardar copia de dos archivos "simges.acu", uno para cada plan de explotación del acuífero.

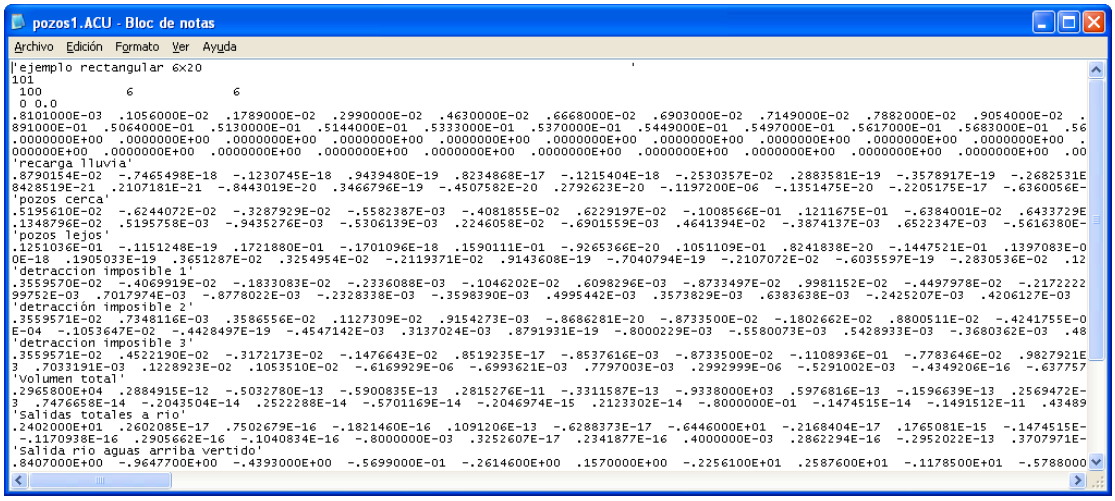


Figura 135: Archivo de datos del modelo de autovalores. La línea resaltada contiene los datos del vector de estado inicial para la simulación con SIMGES.

2.3.2. Modelo del acuífero en SIMGES

Para incluir el modelo de autovalores en SIMGES hay que agregar un nuevo modelo de acuífero sustituyendo al anterior. Para agregar los datos del modelo de autovalores se selecciona el archivo "*.acu" generado por AQUIVAL mediante el botón [leer Aquival…] en la ventana de datos del acuífero (Figura 136).

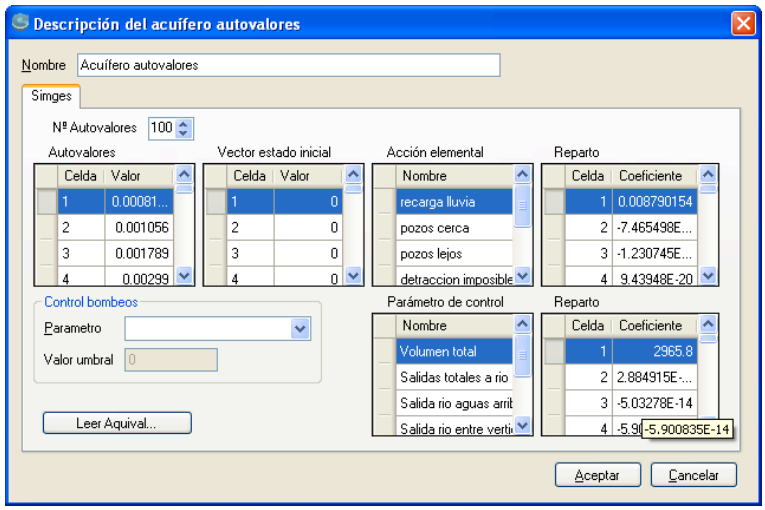


Figura 136: Datos del modelo de autovalores en SIMGES.

2.3.3. Conexiones del sistema superficial con el acuífero.

Los elementos conectados al acuífero deben revisarse con los datos de la conexión correspondientes al nuevo modelo. En la Tabla 13 se muestra los parámetros de control y acciones elementales correspondientes a la conexión con cada elemento del sistema superficial.

Elemento	Acción elemental	parámetro control
Demanda	"Pozos cerca" o "Pozos lejos" (según alternativa de instalación de pozos)	Ninguno
Tr recarga lluvia	Recarga lluvia	--
Tr. Azud grande a vert Villa Abajo	Detracciones imposibles tramo 1	Salida río ag arriba vertido
Tr. Vert VillaAbajo a ICA VillaAbajo	Detracciones imposibles tramo 2	Salida río aguas abajo vertido

Tabla 13: Datos para conexión del acuífero de autovalores con el sistema superficial.

3. Análisis de resultados.

A continuación se destaca algunos aspectos del sistema de gestión que puede ser estudiados atendiendo solo a la parte del modelo que tiene mayor relación con la simulación del acuífero. El estudio de otros problemas como la gestión del embalse y del suministro externo ya han sido tratados en un ejercicio anterior.

3.1. Estudio de las necesidades de bombeo.

En la ficha de la demanda se ha fijado sin ningún criterio un caudal máximo de bombeo de 10 hm^3/mes. Este puede ser un parámetro a analizar, para ello se podría hacer simulación con diferentes valores de caudal máximo de bombeo y relacionar este con el volumen medio anual extraído (Figura 137).

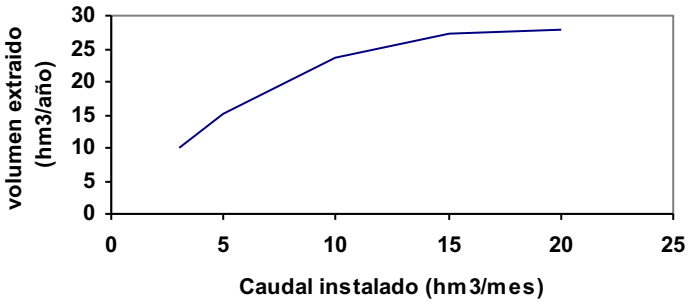


Figura 137: Relación del caudal máximo de bombeo con el volumen total de extracciones.

Este estudio es independiente del modelo subterráneo elegido, ya que el bombeo se activa solamente dependiendo de la disponibilidad de agua superficial.

Sí sería relevante el modelo utilizado si se analizara un criterio de bombeo basado en el estado del acuífero. El modelo agregado solo dispone de 2 parámetros (volumen y caudal) como criterio de decisión. El modelo distribuido permitiría diseñar cualquier indicador (nivel piezométrico, volumen o caudal en una zona concreta).

También tendría importancia el modelo subterráneo si la afección al caudal del río influyera en la gestión del sistema. Por ejemplo si un objetivo es mantener un caudal mínimo en un tramo de río afectado por el acuífero.

3.2. Estudio de la elección de la situación de los pozos.

Se ha planteado la consideración de dos lugares alternativos para la construcción de los pozos. Esta distinción no puede ser tratada con el modelo agregado. Si no hubiera alternativa, se podría simular diferentes hipótesis, por ejemplo considerando que la opción "pozos 1" situados aguas arriba del vertido tendrán mayor efecto sobre el tramo de río aguas arriba del punto de vertido, mientras que los "pozos 2" tendrán más efecto sobre el tramo aguas abajo del vertido. O se podría simular la gestión de cada alternativa cambiando el valor del coeficiente de reparto de la conexión con uno y otro acuífero. Sin embargo esto no deja de ser una conjetura que sería difícil de validar.

Con el modelo distribuido sí se puede tratar por separado ambas localizaciones de los pozos. También se puede tratar la afección de los bombeos sobre diferentes tramos del río. A continuación se muestra el uso del modelo de la cuenca con el modelo de acuífero distribuido para tratar estas cuestiones.

La Figura 138 representa la afección al caudal de salida al río según que se considere los bombeos para riego situados en la ubicación más cerca del río o más lejos. Se comprueba claramente que si los pozos se sitúan en el punto más alejado el efecto sobre el caudal del río es más uniforme. Mientras que si se sitúan cerca la afección al caudal del río es inmediata, con valores de afección muy superiores a la opción lejos.

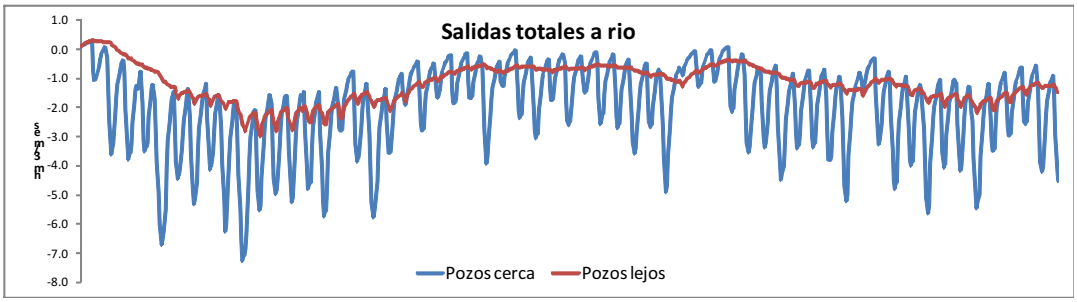


Figura 138: Afección calculada al caudal en el río de las extracciones para riego en cada una de las 2 ubicaciones previstas.

En la Figura 139 se muestra la misma afección pero distinguiendo entre el tramo de río antes del punto de vertido de la demanda urbana y el tramo posterior. Comparando estas figuras se aprecia que la opción de los pozos cerca, al estar también aguas arriba toda la afección al río se da aguas arriba del punto de vertido, al contrario que con la segunda opción.

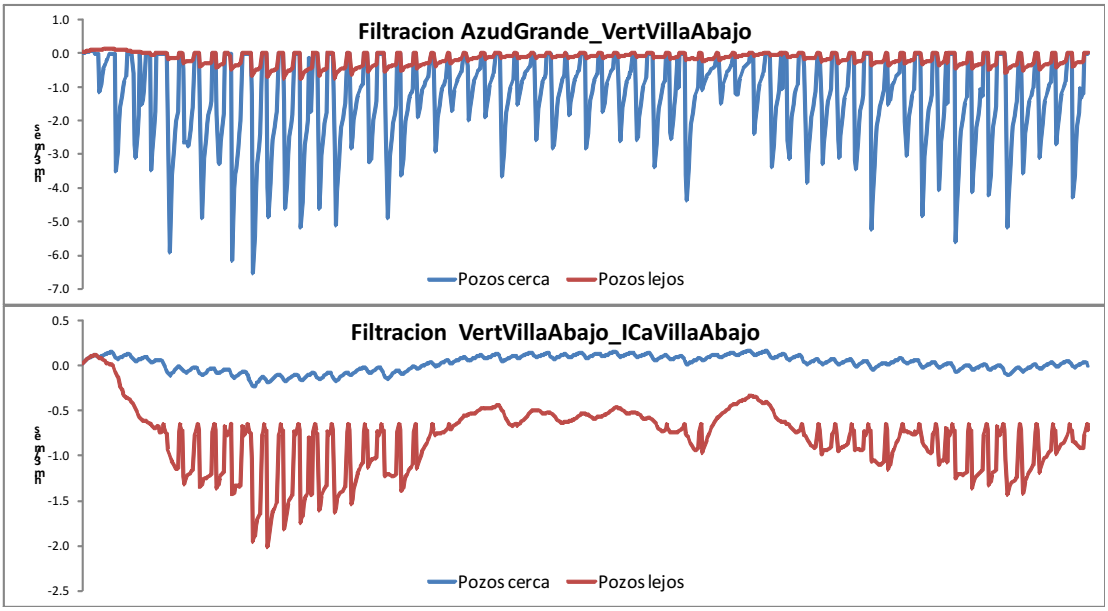


Figura 139: Afección calculada al caudal en los tramos de río aguas arriba y aguas abajo del punto de vertido causada por las extracciones para riego en cada una de las 2 ubicaciones previstas.

En la misma Figura 139, también se observa que para el tramo aguas arriba del vertido, al no circular caudal durante el verano, el valor de las filtraciones es 0 para las 2 alternativas. Mientras que aguas abajo del punto de vertido, para la opción de pozos lejos también se filtraría todo el caudal de vertido durante el verano.

A la vista de estos resultados, parece razonable plantear nuevos escenarios fijando un caudal mínimo en verano que compense las filtraciones calculadas. Incluso, con ayuda del módulo de simulación de la calidad (GESCAL) se podría analizar el resultado de la dilución del vertido. Así se podría buscar la mejor opción conjunta de localización de los pozos y caudal mínimo de dilución.