

4. ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA RECARGA

4.1. Modelo matemático utilizado

4.2. Ajuste del modelo

4.3. Simulación de hipótesis de recarga

4.- ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA RECARGA

A partir de los resultados obtenidos con este ensayo de recarga, es razonable suponer que se pueden inyectar diferentes caudales en diversos sondeos distribuidos a lo largo de los cursos de aguas superficiales.

Los efectos a largo plazo que esta recarga tendría sobre los niveles piezométricos del terciario detrítico de la región de los páramos se han analizado mediante la utilización de un modelo matemático de flujo.

4.1.- Modelo matemático utilizado

El modelo matemático utilizado ha sido el desarrollado por el IGME durante la realización del "Proyecto para la investigación hidrogeológica de la Cuenca del Duero. Sistemas nºs 8 y 12".

Este modelo simulaba el funcionamiento hidrogeológico del acuífero terciario detrítico de la región de los páramos. El programa utilizado era el Trescott (U.S. Geological Survey), que resuelve la ecuación del flujo subterráneo por el método de diferencias finitas y que permite simular flujo tridimensional, si bien, en aquella ocasión se manejaba una versión muy primitiva de aquel programa.

Para la simulación de la recarga se ha utilizado una versión muy mejorada de este programa y se ha modificado la malla primitiva, discretizando los nudos en que se va a simular la inyección de caudales, mediante la reducción de la anchura de filas y columnas hasta el límite que permite el programa sin producir problemas de convergencia, manteniendo las condiciones de borde y el modelo conceptual del flujo ya utilizado. La nueva malla se refleja en el plano nº 1.

El programa se puede resumir teniendo en cuenta que utiliza una malla de tipo rectangular variable en la que cada celda es un paralelepípedo situándose el nudo en el centro de la misma.

Los datos de entrada del modelo son:

- Número de filas.
- Número de columnas.
- Número de capas.
- Número de nudos de nivel constante.
- Nivel inicial de cada nudo en metros.
- Permeabilidad de cada nudo en m/día.
- Factor de anisotropía en cada nudo.
- Ancho de cada fila en metros.
- Ancho de cada columna en metros.
- Espesor de capa en metros.
- Recargas y descargas en cada nudo en $m^3/día$.

Los resultados que se obtienen son:

- Nivel resultante de la simulación en cada nudo excepto en los de nivel constante, en los cuales dicho dato se mantiene invariable durante todo el proceso de simulación.

- Caudal cedido o absorbido por los nudos de nivel constante en $m^3/día$.
- Balance global de entradas y salidas en $m^3/día$.

Los bombeos (salidas) se consideran como caudal negativo y las recargas (entradas) como caudal positivo.

La primera y última filas así como la primera y última columnas se considera que tienen permeabilidad nula por exigencias del programa.

4.2.- Ajuste del modelo

Como ya se ha indicado, la simulación del acuífero terciario detrítico de la región de los páramos se realizó con una versión muy primitiva del programa, en la que la introducción de datos era muy diferente. Así pues el ajuste del modelo ha consistido, fundamentalmente, en adaptar los datos a la nueva versión del programa y en redistribuirlos de acuerdo con la nueva malla adoptada.

Ajuste en régimen permanente

Para el ajuste en régimen permanente se ha considerado la malla representada en el plano nº 1.

Las condiciones de borde se han simulado ajustando el perímetro del modelo a la isopieza 775, para lo que se han impuesto como nudos de nivel constante la fila 2 y las columnas 2 y 12. Por abajo el límite se ha hecho coincidir con líneas de flujo por lo que el modelo en esta zona se ha puesto como límite impermeable, salvo el nudo (11,5) que se ha considerado como nudo de nivel constante para

simular el drenaje por los ríos Duero y Pisuerga aguas abajo de la zona simulada.

Al no existir en régimen permanente otras entradas o salidas que las laterales por los bordes, las recargas se obtienen como resultado del modelo y vienen dadas por los nudos de nivel constante.

Los niveles iniciales y los coeficientes de almacenamiento, no influyen en el resultado final en régimen permanente, por lo que se les ha dado valor cero.

Los valores de permeabilidad por nudo considerados para el ajuste en régimen permanente se recogen en el informe que sobre este proyecto se encuentra en el archivo de la Dirección de Aguas Subterráneas del I.G.M.F.

Con todos estos datos se llegan a conseguir las isopiezas que se representan en el plano nº 2. Estas isopiezas que se ajustan con bastante exactitud a las obtenidas en el "Modelo de simulación del flujo subterráneo en los valles del Esgueva y del Cerrato" (I.G.M.F., 1979), se han dado como satisfactorias en base a las consideraciones que en este informe se hacían. Además el caudal circulante por el acuífero ($5,5 \text{ Hm}^3/\text{año}$) coincide con el obtenido en el citado informe.

Ajuste en régimen transitorio

Calibrado el modelo en régimen permanente se han simulado los descensos producidos en el valle del Esgueva durante el mismo período que se utilizó para la anterior simulación.

Para ello se ha suprimido el nivel constante del nudo del río (11,5) y se ha sustituido por un drenaje igual al obtenido en el ajuste en régimen permanente; se ha asignado un coeficiente de almacenamiento a cada nudo útil de la malla y un bombeo a los nudos correspondientes.

La simulación de los cinco años considerados se ha efectuado dividiéndolos en 10 períodos de 6 meses, suponiendo que coinciden alternativamente con los meses con regadío y sin regadío de cada año.

Las permeabilidades y los niveles iniciales utilizados para el régimen transitorio han sido los obtenidos en el ajuste en régimen permanente.

La calibración se ha realizado ajustando las oscilaciones calculadas en el nudo (8,8) con las observadas en el piezómetro (1714-6-001), que es concretamente el utilizado como sondeo de recarga. El ajuste conseguido ha sido bastante satisfactorio, si bien para reproducir los niveles medidos en los últimos períodos ha habido que aumentar los bombeos prácticamente al doble.

4.3.- Simulación de hipótesis de recarga

Una vez calibrado el modelo en las fases anteriores, de tal forma que todos los parámetros utilizados reproduzcan con cierto grado de fiabilidad el comportamiento observado en el acuífero, se ha procedido a simular diversas hipótesis de recarga.

Para ello se ha supuesto en primer lugar que en el acuífero se prolonga la situación de bombeo correspondiente al último año de simulación en régimen transitorio durante un período de 20 años, al objeto de observar el comportamiento de los niveles.

Posteriormente se han simulado tres hipótesis diferentes en las que se han ido modificando los nudos de recarga y los caudales inyectados por sondeo, comparando los resultados calculados con la situación obtenida en caso de no existir recarga.

Pasada base

En la pasada base se han simulado 20 años divididos en 60 períodos de 4 meses cada uno.

Los parámetros hidrogeológicos (permeabilidad, coeficiente de almacenamiento, factor de anisotropía, etc) y el drenaje por los ríos, simulado en el nudo (11,5), utilizados en el régimen transitorio se han mantenido como datos de entrada para esta simulación y el bombeo se ha supuesto que continúa el correspondiente al último año del ajuste en régimen transitorio.

Con estos datos de entrada el volumen bombeado al cabo de los 20 años es de 187 Hm³ y los descensos calculados superan los 30 m en el valle del Esgueva, aguas abajo de Esguevillas de Esgueva aproximadamente, y en los arroyos Madrazos y Jaramiel los descensos están comprendidos entre 20 y 30 m. Aguas arriba de Fombellida los descensos no llegan a 10 m y en el resto del acuífero al no existir datos de sondeos ni de regadíos, no se ha efectuado representación alguna (plano nº 3).

Por otra parte analizando los descensos en la zona de Esguevilla de Esgueva (nudo 8,8) se observa que la curva de descensos en el nudo va perdiendo pendiente, es decir el ritmo de los descensos tiende a hacerse menor, si bien no llega a estabilizarse.

Primera hipótesis de recarga

Para la primera hipótesis de recarga se han mantenido los mismos datos de entrada que en la pasada base y además se ha supuesto que se recargan cinco sondeos durante ocho meses al año con un caudal de inyección por sondeo de 10 l/s.

Los nudos en los que se han simulado los sondeos de recarga (6,9) (7,8) (8,7) (8,8) (9,7) siguen el curso del río Esgueva y se han situado en la zona en la que según la pasada anterior se detectan descensos superiores a 30 m.

Con esta hipótesis se logran reducir los descensos superiores a 30 m en casi todo el acuífero, no obstante, existe todavía una amplia zona, localizada en el valle del Esgueva, en que después de 20 años de recarga los descensos continúan siendo superiores a 20 m (plano nº 4); lo cual es razonable ya que el volumen bombeado para riego (187 Hm³) es muy superior al inyectado (21 Hm³).

Segunda hipótesis de recarga

En la segunda hipótesis se simula que el caudal de inyección es de 300 l/s repartido en 12 nudos (plano nº 5) que se distribuyen a lo largo del río Esgueva y de los arroyos Madrazos y Jaramiel.

Los descensos calculados en esta hipótesis se reducen sensiblemente, puesto que sólo se detectan superiores a 20 m en los nudos (11,4) (11,5) y (11,6) por condicionantes del programa, ya que las salidas laterales se han asimilado al nudo (11,5) como si fuese un bombeo lo que ocasiona en esta zona descensos mayores.

Los descensos que se obtienen en el resto de los valles del Esgueva, Madrazos y Jaramiel van siendo cada vez menores a medida que se asciende por el curso de los mismos, llegando a obtenerse ascensos a partir de Villafuerte aproximadamente, lo que indica que en esta zona se ha supuesto un exceso de recarga.

Estos ascensos que llegan a ser de 7 m, unidos al hecho de que en la zona donde se producen no existen muchos riego (plano nº 3), han llevado a plantear una tercera hipótesis.

Tercera hipótesis de recarga

En esta tercera hipótesis se ha mantenido el mismo caudal de inyección que en la anterior aunque se han modificado los nudos de recarga en el sentido de suprimir uno de ellos (nudo 5,10) y de aumentar el caudal en los de las filas inferiores, nudos (9,6) (9,7) y (10,6) lo que supondría incrementar el número de los pozos de recarga en dichos nudos.

Con esta simulación se inyecta más cantidad de agua allí donde más se riega y los efectos que produce son, por una parte hacer que los descensos sean inferiores a 20 m en toda la zona y por otra que no se produzcan ascensos importantes en las áreas en donde no hay grandes regadíos.

Además los descensos que se registran entre Olmos de Esqueva y Villafuerte, zonas con gran tradición de regadío, son inferiores a 10 m, lo que puede considerarse aceptable si se tiene en cuenta que están referidos al cabo de 20 años de regar con un volumen de agua de 187 Hm³.

El volumen anual de agua que se recarga en esta hipótesis es de 6,3 Hm³. Volumen que se obtiene a partir de inyectar durante 8 meses un caudal continuo de 300 l/s.

Esto supone que con sondeos de buena ejecución y en los que no existan problemas de incrustaciones o de otro tipo, es decir, en los que pudiesen introducirse 20 l/s, el número de éstos que se precisarían para satisfacer las condiciones impuestas en esta hipótesis sería de 15.