

# ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO Y MODELO MATEMÁTICO DEL ACUÍFERO DE PÉNJAMO-ABASOLO, GTO.

POR: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES  
ING. DAVID GONZÁLEZ POSADAS

## RESUMEN

La zona de estudio corresponde al valle de Pénjamo-Abasolo, Gto., el cual tiene una forma prácticamente plana. El subsuelo está constituido por una alternancia de materiales aluviales, sedimentos lacustres y coladas de lava que en su mayoría se comportan como permeables y permiten la infiltración y circulación de agua en el subsuelo. Presentan intercalaciones de horizontes arcillosos que provocan el almacenamiento de agua a diferentes profundidades.

El valle se encuentra limitado al oeste por la Sierra de Pénjamo, al norte por la Sierra de El Veinte, al sureste por la Sierra de Abasolo y en la parte sur por la Sierra de Tacubaya. Estas sierras se encuentran constituidas por rocas ígneas estrusivas existiendo dos tipos principales, basaltos y riolitas. En general las elevaciones topográficas permiten la infiltración del agua de lluvia y constituyen zonas de recarga al acuífero. Al sur de Pénjamo el valle presenta un estrechamiento, volviéndose a abrir hacia el oeste en el área que corresponde al valle de Numarán.

En la mayor parte de la zona de estudio existe una capa de arcillas impermeables entre los 40 y 50 metros de profundidad, que ocasiona la formación de un horizonte acuífero superficial cuyo nivel se establece a entre 2 y 20 metros de profundidad. Se le denominó horizonte *acuífero somero*.

Entre los 80 y 120 metros de profundidad, se encuentra otro horizonte arcilloso impermeable que en ocasiones pasa lateralmente a un basalto compacto también impermeable. Estos materiales ocasionan la formación de una zona acuífera denominada aquí acuífero *intermedio*, cuyo nivel se encuentra a profundidades variables, predominando el rango de 25-50 metros. Los pozos que se encuentran explotando a este acuífero alcanzan profundidades del orden de 80-120 metros. Bajo dichos acuíferos, se encuentran riolitas y sedimentos lacustres permeables que permiten la formación de un acuífero, denominado *acuífero profundo*. Los pozos que explotan este acuífero tienen profundidades de 200-300 metros, el nivel estático se establece a 60-90 metros. Durante la década de los 70's, el Valle de Pénjamo-Abasolo se encontraba explotado por un gran número de pozos que extraían agua de este horizonte acuífero, empezando a mostrar signos de sobreexplotación que repercutían en el abatimiento de los niveles. Por ello, la exSecretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos estableció veda a la perforación de nuevos pozos. Ya para dicha década de los 70's, se conocía que a mayor profundidad existían sedimentos lacustres y lavas riolíticas de alto potencial geohidrológico y que frecuentemente presentaban termalismo. La exSARH emitió criterios para el

otorgamiento de permisos para perforación, que indicaban que los pozos nuevos deberían explotar la zona acuífera de mayor profundidad, para lo cual deberían cementar la porción superficial del pozo y evitar así aumentar la sobreexplotación de los acuíferos superficiales.

Los estudios realizados muestran que los horizontes acuíferos identificados como *somero* e *intermedio* han quedado agotado en varias zonas y en otras se encuentran a punto de secarse. Así mismo, que el horizonte de mayor extracción corresponde al denominado acuífero *profundo*. El estudio y modelo realizado incluye a los acuíferos intermedio y profundo.

Se trazaron configuraciones de la elevación del nivel estático. Por lo que respecta al acuífero *intermedio*, se establece un flujo de las elevaciones topográficas hacia el centro de los valles. A alrededor de 7 kilómetros al suroeste de Abasolo, se presenta el centro de un cono de abatimiento. Este acuífero se encuentra en proceso de extinción. Por lo que se refiere al acuífero *profundo*, los valores de elevación del nivel estático mayores se encuentran en las estribaciones de las elevaciones topográficas del norte, a partir de donde descienden gradualmente hacia el centro del Valle de Pénjamo-Abasolo,

A partir de pruebas de bombeo se asignó un valor 0.003 de coeficiente de almacenamiento a la porción central, donde se encuentra el horizonte acuífero *profundo* (semiconfinado) mientras que en una franja que bordea a los valles, donde el acuífero *profundo* se confunde con el *intermedio*, se asignó un valor de coeficiente de almacenamiento de acuífero libre que asciende a 0.05.

Los valores de transmisibilidad varían entre  $1.57 \times 10^{-5}$  y  $0.1 \text{ m}^2/\text{seg}$ , encontrándose los valores más altos al norte del Valle de Abasolo, así como en los alrededores de la Sierra de Tacubaya, debido a la presencia de rocas basálticas.

Se obtuvo la cantidad de agua que ingresa al acuífero en forma de flujo subterráneo procedente de las elevaciones topográficas y calculada ésta a partir de las celdas que se ubicaron sobre las estribaciones del valle, la cual ascendió a 226 millones de  $\text{m}^3/\text{año}$ .

La principal forma como se descarga el acuífero corresponde a la extracción de agua por bombeo (Ext), la que asciende a  $440 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{anuales}$  para la zona incluida dentro del área de balance y correspondiente al acuífero *profundo*.

Los resultados del balance de agua subterránea para el *acuífero profundo* indican que la entrada subterránea es de  $226 \text{ Mm}^3/\text{anuales}$ , la infiltración vertical al acuífero profundo es de 151.2, la extracción es de  $440.2 \text{ Mm}^3/\text{anuales}$ . La diferencia entre la entrada de agua al acuífero que asciende a  $376.2 \text{ Mm}^3/\text{año}$  y la salida en forma de explotación por bombeo que es de 440.2. La diferencia entre entradas y salidas corresponde al cambio de almacenamiento el cual es de  $-64 \text{ Mm}^3/\text{anuales}$ .

De igual manera se efectuó el balance de agua subterránea para el horizonte acuífero intermedio. Se obtuvo una entrada subterránea de 70.0 millones de  $\text{m}^3/\text{año}$ , una

extracción por bombeo de 235 millones de m<sup>3</sup>/año, un cambio de almacenamiento de -118.7. Por lo que se refiere a la infiltración vertical, le corresponden 46.3 millones de m<sup>3</sup>/año.

Se aplicó el modelo de flujo Vmodflow versión 2.72 para los acuíferos intermedio y profundo, que incluye lo siguiente:

Se construyó un archivo en autocad con los principales rasgos topográficos que permitieran contar con una base de referencia. Se trazó una malla de elementos ortogonales de 1000 metros por lado que incluyó 70 columnas y 64 renglones. Se consideraron cinco capas dentro del modelo. La primera de ellas corresponde a los aproximadamente 100 metros superficiales y comprende a la porción donde se alojan los horizontes acuíferos *somero e intermedio*. La segunda capa tiene un espesor aproximado de 15 metros y representa a la zona arcillosa que divide a los acuíferos. La principal zona acuífera corresponde al acuífero *profundo* y se dividió en tres capas denominadas capa 3, capa 4 y capa 5. La superficie del terreno o cima de la capa 1 fue creada en *surfer*. La base de la capa 1, correspondió a la posición de los materiales arcillosos que sirven de sello. La cima de la capa 3 correspondió a la base de la capa 2, mientras que la base de la capa 5 corresponde al basamento obtenido por geología y geofísica.

La conductividad hidráulica para la primera capa varió de 1.3 a 5 m/día y fue deducida de acuerdo al tipo de materiales existentes y a los resultados de las pruebas de bombeo. A la capa 2 se le asignó una conductividad de  $1 \times 10^{-5}$  m/día. Por lo que respecta a las capas 3, 4 y 5, la conductividad varió de 0.015 a 5 m/día.

El coeficiente específico (Ss) se obtiene dividiendo el coeficiente de almacenamiento entre el espesor del acuífero. El rendimiento específico (Sy) es igual a la porosidad efectiva en los acuíferos libres. Cuando el acuífero es semiconfinado el modelo utiliza Ss. En la capa 1 el acuífero es libre; el valor de Sy que predominó varió de 0.05 a 0.10. Las capas 3 y 4 funcionan como semiconfinado, predominando un Ss. Las capas 2 y 5 tienen valores de 0.002 y 0.000033 de Ss y; 0.06 y 0.0015 para Sy.

Se formó un archivo que incluye alrededor de 1851 pozos que se encuentran extrayendo agua del acuífero *profundo e intermedio* y de los cuales se conoce su régimen de operación.

A la capa 1 del acuífero *intermedio*, se le asignó una recarga lateral mediante celdas de recarga; una recarga de agua de lluvia y retornos de riego a través de una lámina media en cada celda. A las capas 3, 4 y 5 correspondientes al acuífero profundo, se le asignó recarga lateral mediante pozos de recarga en las celdas perimetrales. Se consideró al año de 1996 como las condiciones iniciales, debido a que esta fue la única fecha que cuenta con datos que permiten la configuración de los acuíferos *profundo e intermedio*. Se tomaron como pozos de observación a los 63 pozos piloto de piezometría.

Durante la calibración se realizaron correcciones y ajustes que van desde cargas iniciales hasta parámetros subestimados o sobreestimados. Se utilizaron los criterios que para

calibrar dispone el Vmodflow, tales como curva de calculado-observado, configuración de abatimientos y configuración de recuperaciones, así como las curvas de abatimiento contra tiempo para cada pozo de observación.

Se corrió el modelo dándole un tiempo de 2 años a partir de 1996. Los resultados al año de 1998 fueron comparados con los observados en el mismo año. Se efectuaron varias corridas por el método de ensayo y error, modificando algunos de los parámetros hidráulicos del acuífero hasta obtener una configuración que presentaba similaridad entre el valor observado y el calculado. Una vez calibrado el acuífero al año de 1998, se efectuaron simulaciones para los próximos 2 y 5 años.

Para la simulación se consideró un incremento gradual de 1 metro cúbico por año, adicional a la extracción actual del acuífero *profundo*. Las configuraciones obtenidas para los 2 y 5 años de simulación indican que se presentarán evoluciones de entre 1 y 3 metros anuales.

Como resultado del estudio se recomienda lo siguiente:

Continuar y acelerar los programas de aplicación de técnicas de riego y selección de cultivos para ahorro de agua.

Elaborar de un estudio socioeconómico enfocado al cambio de actividad agrícola por agropecuaria e industrial, principalmente en las zonas centrales del valle donde la extracción ha ocasionado la formación de conos de abatimiento.

Incrementar la recarga del acuífero mediante la construcción de diversas estructuras tales como presas, adaptación de antiguos cauces para provocar infiltración, etc. Aplicar programas de reforestación para fomentar la infiltración el agua de lluvia hacia los acuíferos.