

**XXIV CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
PUNTA DEL ESTE, URUGUAY, NOVIEMBRE 2010**

**MONITOREO Y MODELACIÓN DEL ACUÍFERO DE LA REGIÓN
NOROESTE DE MONTEVIDEO**

Fabián Gómez, Alfonso Flaquer, Jorge de los Santos

Facultad de Ingeniería Universidad de la República, Julio Herrera y Reissig 565 Montevideo, Uruguay

fabiang@fing.edu.uy, aflaquer@fing.edu.uy, jedls@fing.edu.uy

RESUMEN: (1^{era}. hoja)

La zona periférica de la ciudad de Montevideo (conocida como Montevideo Rural), capital de la República Oriental del Uruguay, cuenta con importantes extensiones de cultivos de frutas y verduras, las cuales, en su mayoría, utilizan riego artificial. La necesidad de agua ha aumentado debido a la implantación-migración de industrias y polos logísticos, potenciada por la oferta de rápidas vías de acceso, bajo costo de traslado de las mercaderías y disponibilidad de los terrenos.

El caso que aquí se presenta es la evaluación de un descenso generalizado de niveles, verificado mediante el monitoreo de pozos durante el período comprendido entre marzo y setiembre de 2009, y la modelación numérica del flujo en diferencias finitas, que permitió la estimación de la recarga. El modelo es una herramienta de gestión de los escasos recursos existentes en medio sedimentario, dentro de un sistema acuífero mixto, donde la fuente más distribuida es el medio fracturado.

ABSTRACT:

The peripheral area of the city of Montevideo, capital of the Republica Oriental del Uruguay has been characterized by significant areas of fruit and vegetable crops, which, in most cases, have artificial irrigation. The need for water has been increased since the area has expanded due to implantation-migration of industries and logistics centers, enhanced by rapid access roads and availability of low cost land.

The case presented here is the evaluation of a general decline in levels through monitoring wells during the period between March and September 2009. Later, these declines was reproduced by a numerical model of three-dimensional finite difference flow, where the model could be use as a management tool for these overexploited scarce resources .

PALABRAS CLAVES: (1^{era}. hoja)

Acuífero, Sobreexplotación, Modelación

INTRODUCCIÓN

La demanda de agua subterránea en Uruguay se acrecienta día a día, empujada por los requerimientos del riego y las industrias.

Un control poco efectivo en su uso, el desconocimiento de las cualidades del recurso por parte de los usuarios y la escasez de estudios generales sobre características de los acuíferos involucrados, han generado una sobreexplotación en sistemas vulnerables, problema que se evidencia cuando la situación ya es crítica. La constatación de descensos excesivos en los niveles piezométricos se traducen en corte del suministro de agua o afectación de los equipos electromecánicos.

En la zona Noroeste del departamento se desarrolla un acuífero en medio sedimentario, confinado, de escaso espesor, sobreyacente sobre el medio fracturado de mayor uso, cuyo origen litológico puede asimilarse al del Sistema Acuífero Raigón (SAR), que se localiza en el vecino Departamento de San José.

Si bien la demanda de agua para consumo e higiene de la población del lugar está cubierta por las redes del ente estatal de abastecimiento (OSE), la demanda agrícola e industrial se ve obligada a hacer uso del agua subterránea, por no contar con cursos utilizables de agua superficial en la zona.

En particular, este estudio se centró en el sector sur del acuífero de la región Noroeste de Montevideo (Figura 1).

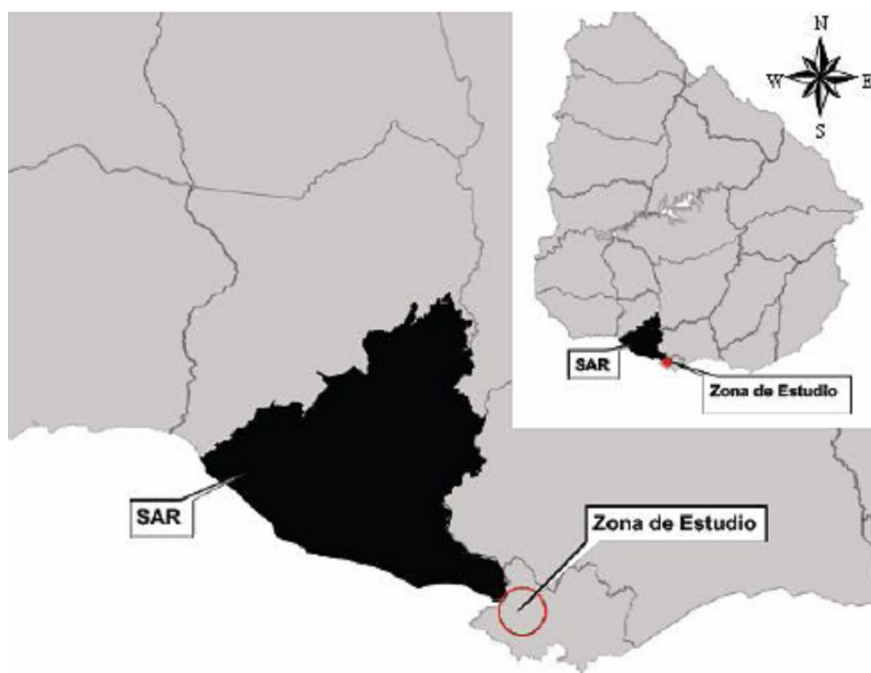


Figura 1.- SAR y Acuífero de la Región Noroeste de Montevideo

El objetivo fue la evaluación del comportamiento del acuífero a través de la conformación de una red de monitoreo y medición de niveles durante un período de tiempo y la determinación de la permanencia o temporalidad de los descensos verificados. La implementación de un modelo numérico permitió cerrar el análisis, calibrando mediante la recarga las piezometrías obtenidas, mediante el software VISUAL MODFLOW.

DESARROLLO DEL ARTÍCULO

Monitoreo

Se contó con información diversa brindada por entes estatales e industrias privadas, y se clasificó la misma, de forma de obtener una base sólida para la orientación del estudio.

La zona de interés se muestra en la Figura 2, y es el área donde se observó el descenso mayor de los niveles hidráulicos.



Figura 2.- Área de Estudio

De inmediato, se relevaron perforaciones existentes, procurando una balanceada distribución en superficie. Se recorrió el área, incorporando pozos para la medición de niveles, explicando el motivo del trabajo y solicitando los permisos pertinentes a los propietarios de los mismos para las posteriores medidas, así como los datos constructivos, uso y mantenimiento de cada perforación. El Instituto de Agrimensura realizó el acotamiento de cada punto seleccionado, mediante GPS diferencial.

Los resultados obtenidos para la red de monitoreo se presentan en la Figura 3 y se agrupan en dos círculos, cuyo centro es un campo de explotación intensiva del acuífero (comprende los pozos N° 1, 2, 3, 4, 5, 6), donde se hizo más notable el problema de insuficiencia en el abastecimiento: el primero de los círculos tiene un radio menor a 1 K m, y el segundo un radio de 1Km a 2Km.

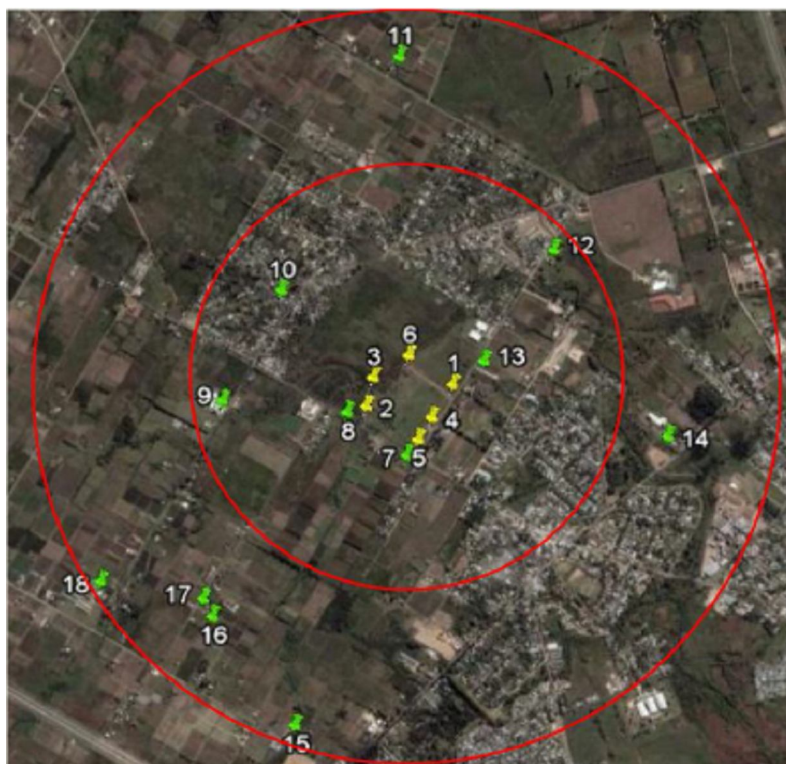


Figura 3.- Pozos seleccionados para la red de monitoreo

Se realizaron 3 campañas de medición de niveles, en Mayo, Julio y Septiembre, en las cuales se procuró determinar las isolíneas del nivel estático del acuífero. En días previos a la medición se contactó a los propietarios de los pozos y acordó la fecha de visita solicitando que el pozo no estuviese en funcionamiento desde un tiempo suficientemente prolongado. En las siguientes figuras se presentan las piezometrías correspondientes a las diferentes campañas de medición de niveles, las cuales están referidas al cero oficial (Figura 4, Figura 5, Figura 6).

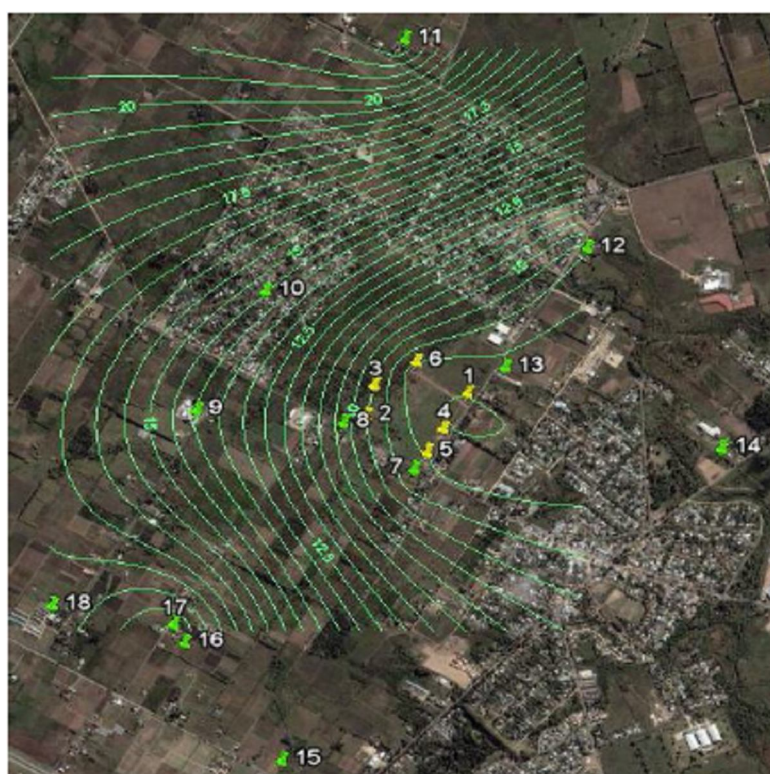


Figura 4.- Piezometría correspondiente a Marzo 2009

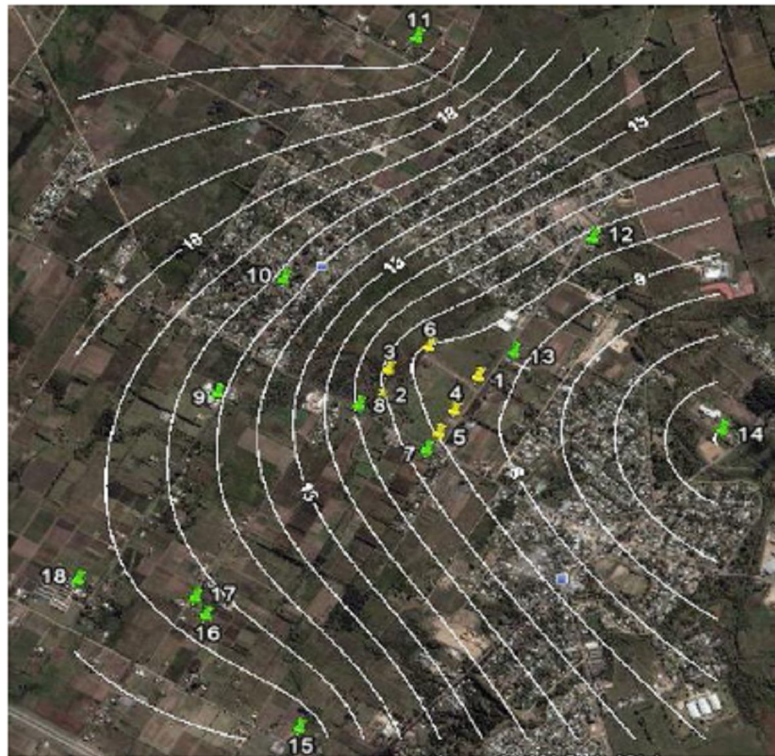


Figura 5.- Piezometría correspondiente a Julio 2009

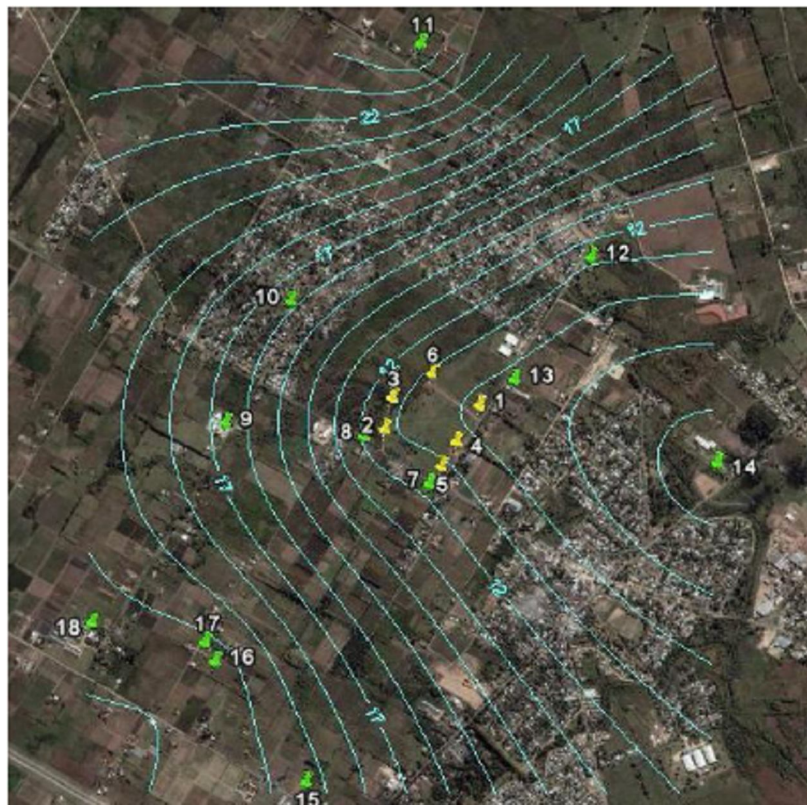


Figura 6.- Piezometría correspondiente a Septiembre 2009

Como puede observarse en las Figuras N° 4, 5 y 6, el flujo del acuífero superficial tiene una dirección preferente de Oeste a Este, con descarga en el Arroyo Pantanoso, y factible recarga en la zona topográficamente alta. A continuación, en la Figura 7, se presenta la carta correspondiente al Servicio Geográfico Militar, donde se muestra la topografía y los cursos de agua del sitio en estudio.

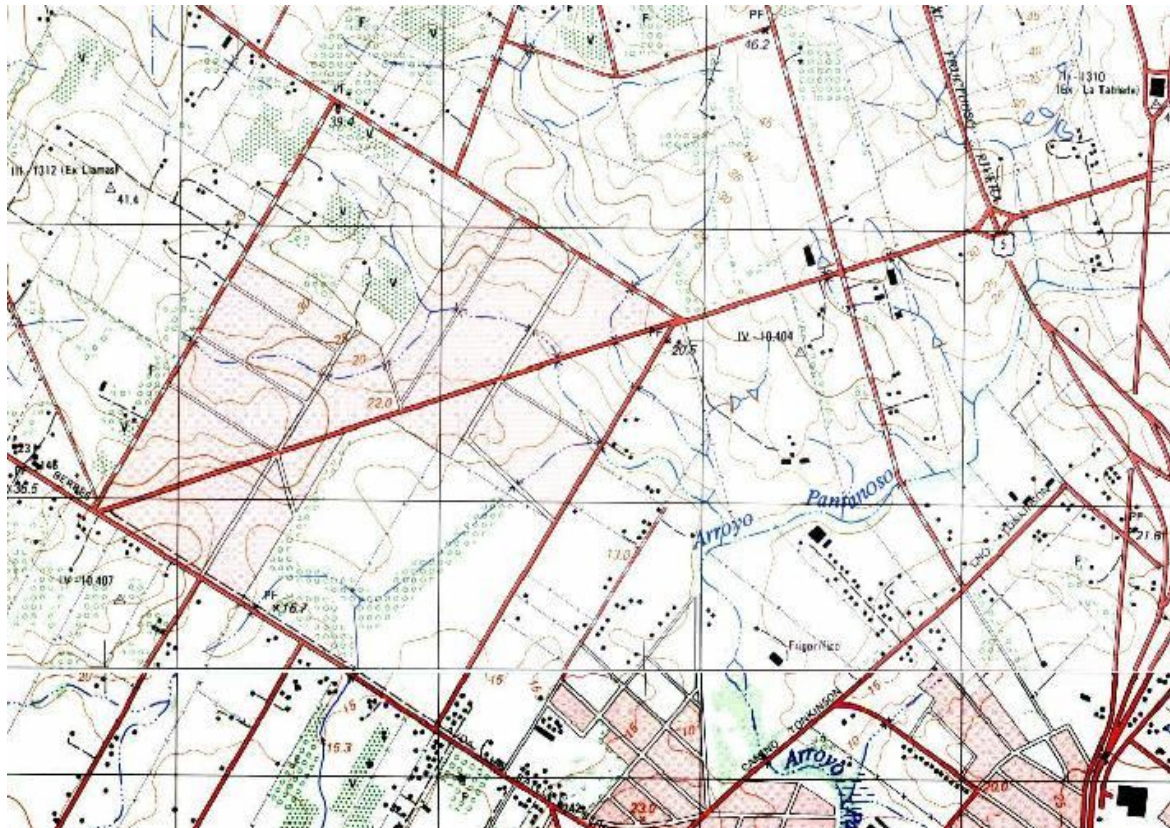


Figura 7.- Topografía y Cursos de Agua de la Zona de Estudio

Durante el tiempo que se desarrolló el trabajo, y manteniendo el régimen de explotación del recurso, se observó una importante recuperación en el nivel del acuífero: En promedio 1.3 metros en la zona central.

Las medidas se realizaron aproximadamente luego de 24 horas en que los pozos dejaron de funcionar. Dicho tiempo puede ser insuficiente para la recuperación total de niveles, lo que puede observarse como irregularidades en las ilustraciones que representan dichas medidas.

En la primera campaña de medición los niveles registrados fueron bajos, en acuerdo con la larga sequía ocurrida hasta ese momento. El uso del agua extraída del acuífero en la zona es prácticamente el único medio de abastecimiento para riego e industria, y es razonable pensar que en ese momento se estaba extrayendo un caudal importante respecto de la recarga posible. En los meses siguientes se registraron algunas lluvias importantes, las cuales contribuyeron al ascenso de niveles.

Modelación

Para la modelación del acuífero de la zona Noroeste de la ciudad de Montevideo, se tuvieron en cuenta las siguientes condiciones de borde: al Oeste, el Cerro de Montevideo; al Este, el cambio de medio sedimentario a fisurado; al Sur, el Arroyo Pantanoso y al Norte el Río Santa Lucía. Por la base, el medio cuenta con una capa de arcilla confinante, de 10 m, en promedio.

En los datos recabados se contó con descripciones litológicas completas de las perforaciones, ensayos de sísmica, sondeos eléctricos verticales y algunos ensayos de bombeo o aforos.

Dicha información dio lugar al mapeo tridimensional del piso y techo del acuífero, y se pudo estimar la conductividad media del acuífero en la zona de estudio. A partir de esta información, y con la evolución de los niveles, se estimó la recarga posible.

Una vez que se generaron las piezometrías se realizó un modelo conceptual del sistema, y su modelo numérico en VISUAL MODFLOW.

En los 100 km² representados, las variaciones de carga hidráulica no son pronunciadas. Los conos de depresión son apenas notables y no influyen en la discretización del dominio, por lo que se dispuso aplicar un esquema regular tri-capa centrado, en celdas de 250 m de lado. Quedó así un esquema que consta de 3960 celdas de carga variable, o activas, en la capa media; 152 celdas en la capa superior en condición de “rivers”, en las cuales el acuífero descarga o recarga según su nivel presente. Por último se presentaron como inactivas 840 celdas en las regiones donde se contaba con menor cantidad de información y donde la geología lo indicaba (Cerro de Montevideo y hacia el noreste en una zona topográficamente alta).

En la Figura 8 se presenta la discretización del dominio de modelación, la topografía de la zona y la ubicación de los pozos pertenecientes a la red de monitoreo. Las celdas en blanco representan las celdas de carga variable, y en un tono más oscuro se aprecian las celdas inactivas.

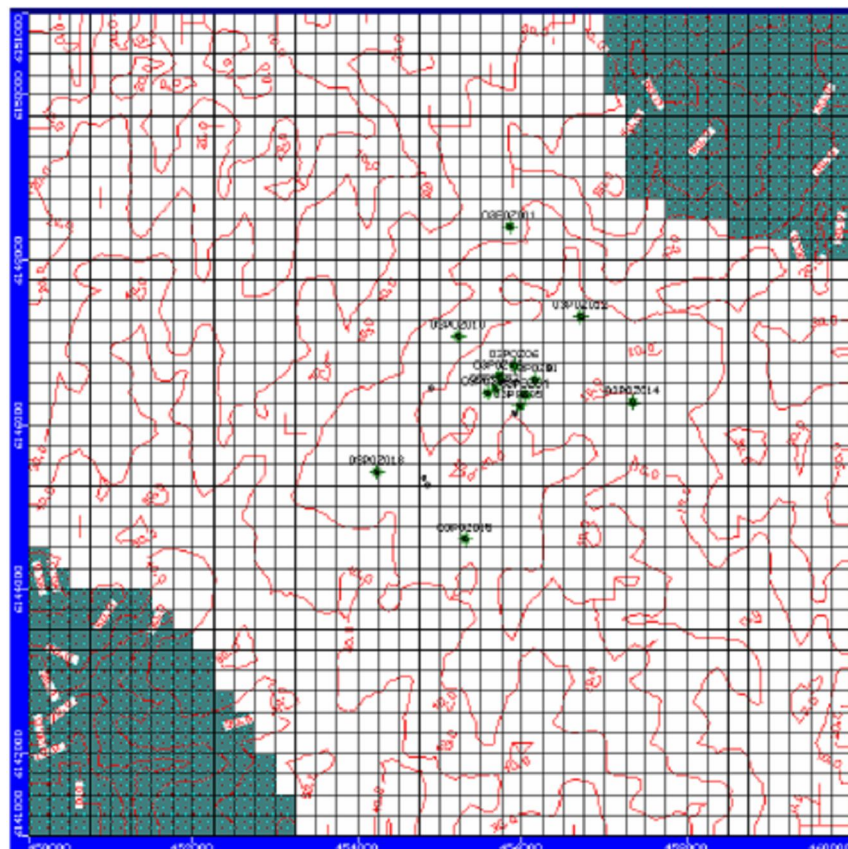


Figura 8.- Discretización del dominio

Para la calibración se actuó sobre la ubicación de las celdas de recarga y su volumen, amén de la conductividad hidráulica, dentro de los límites establecidos puntualmente por los ensayos de bombeo.

Se utilizó la modalidad de calibración apoyada en el error total obtenido en cada simulación, con un criterio de prueba y error. Los errores obtenidos fueron menores que 0.1 m para más del 98% del área modelada, con lo cual se obtuvo un error total general del 5%, entendiendo por error la diferencia entre los valores observados y los simulados. En la Figura 9 se muestra la piezometría representada.

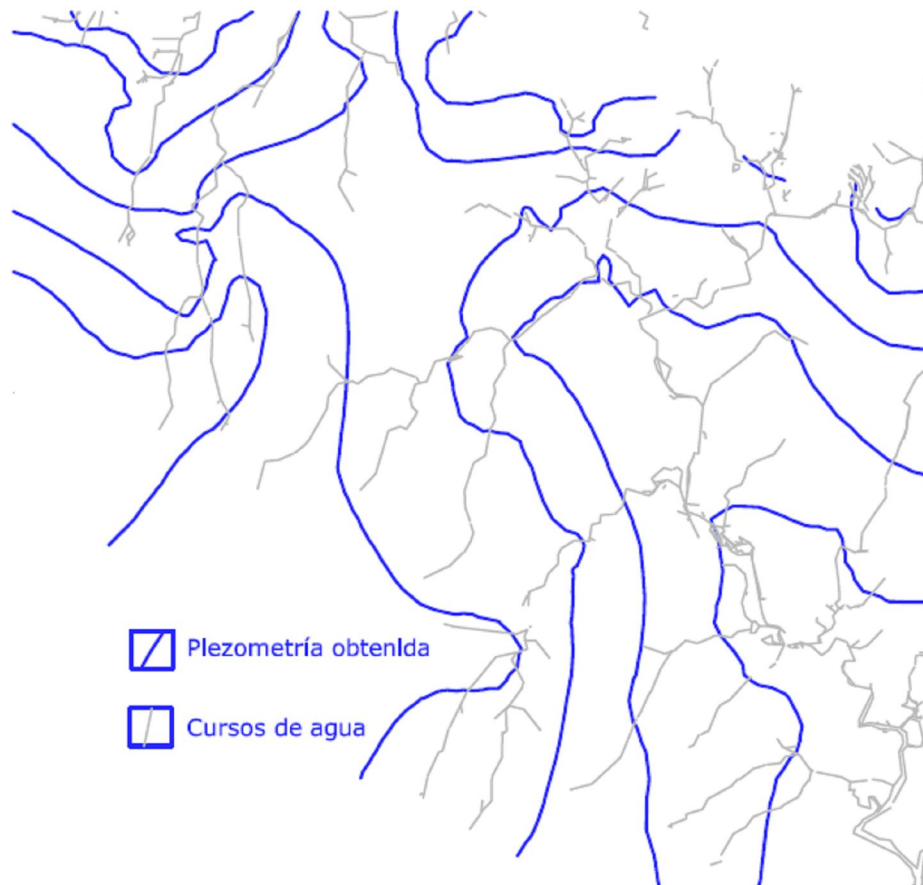


Figura 9.- Piezometría Obtenida

Un aspecto importante a destacar es que hacia el Este de la región de estudio el medio sedimentario reduce su espesor y productividad hasta desaparecer. Las perforaciones de esa zona extraen agua del medio fisurado, con una productividad media a baja. En el lugar se logró reproducir la piezometría, con resultado aceptable, con la salvedad de las limitaciones que supone tratar el medio fisurado como continuo para el modelo numérico utilizado.

El balance en el dominio de trabajo para el sistema acuífero representado arroja los siguientes resultados:

Descarga por condición de “rivers” 24563 m³/d, recarga por condición de “rivers” 562 m³/d, recarga directa 23746 m³/d. La discrepancia es 255 m³/d.

En la Figura 10 se muestra el resultado de la calibración del modelo dentro de la zona de monitoreo. Se puede apreciar que hacia los bordes de la región el ajuste se hace menos preciso, debido a la extrapolación mediante software de datos fuera de la región de monitoreo.



Figura 10- Resultado de la calibración en la Zona de Estudio

En la región próxima a la zona de estudio, el modelo es consistente con el problema planteado. Las curvas piezométricas obtenidas son perpendiculares a los cursos superficiales de agua, los cuales se utilizaron en condición “rivers” en MODFLOW. Hacia el Noroeste fue escasa la cantidad de pozos de observación encontrados, razón por la cual sólo se impuso una condición de nivel constante en el Río Santa Lucía.

CONCLUSIONES

1. El acuífero somero de la zona Noroeste de la ciudad de Montevideo es un sistema confinado. Se trata de un medio sedimentario de productividad media a baja.
2. Presenta un área de recarga en la zona topográficamente alta y descarga en el Río Santa Lucía y en el Arroyo Pantanoso.
3. La recarga del acuífero se genera en parte por la precipitación que infiltra al medio y puede llevar más de un mes en hacerse efectiva, observable en el ascenso de los niveles. En los meses de verano dicha infiltración se ve reducida debido a que las precipitaciones son de corta duración y muy intensas, lo que genera mayor escurrimiento y menor infiltración, sumando esto a un aumento en la evapotranspiración, que con la constante explotación del acuífero reduce las reservas durante los meses de verano.
4. El comportamiento de la piezometría tiene características cíclicas, observándose niveles bajos en los últimos meses de verano y principio de otoño y una posterior recuperación en las siguientes estaciones.
5. Los resultados del estudio muestran que el caudal extraído no genera sobreexplotación del acuífero. El aumento de los niveles piezométricos se verificó puntualmente, pero en una época de prolongada sequía, por lo que puede generalizarse lo apreciado.
6. La afectación en los niveles hidráulicos generados por la explotación del acuífero no representa un claro patrón en los descensos observados.

7. Los resultados obtenidos de la modelación numérica son consistentes con el modelo conceptual planteado. El modelo matemático se calibró para un estado estacionario.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro agradecimiento a todos quienes apoyaron las tareas desarrolladas: al Dr. Guillermo Hernández, de la UNAM, al Dr. Marcos Musso y al Ing. Martín Guimaraens, de la FING-UDELAR, a los entes estatales e industrias privadas que colaboraron con la información brindada y a todos quienes de una forma u otra permitieron la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

Comisión Docente Curso Internacional Hidrología Subterránea (2009): “Hidrogeología, Conceptos Básicos de Hidrología Subterránea”. 1ra Edición, Barcelona.

Custodio, Emilio-Llamas, Manuel Ramón (1976): “Hidrología Subterránea”. 1ra Edición, Barcelona, Ediciones Omega S.A.

Todd, D.K. (1976): Groundwater Hydrology, **John Wiley & Sons**. 0-471-87616-X.