

ESTIMACIÓN DE RECARGA DE ACUÍFEROS EN AMBIENTES DE LLANURA CON BASE EN VARIACIONES DE NIVEL FREÁTICO

• Orlando Mauricio Quiroz-Londoño • Daniel Martínez • Héctor Massone •
Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina

Resumen

La cuantificación del agua que entra al sistema hidrológico subterráneo es una de las principales incógnitas al momento de generar modelos hidrogeológicos tanto conceptuales como numéricos. Se entiende por recarga al acuífero, al agua que atraviesa el límite inferior de la zona no saturada, llega al acuífero y produce ascensos medibles en el nivel freático. En la actualidad existen diversas técnicas para cuantificarla, pero elegir la apropiada es a menudo difícil, especialmente por la necesidad de considerar la variación espacio-temporal, así como el rango y la fiabilidad de los datos usados por cada metodología. El objetivo de este trabajo es estimar el valor de la recarga al acuífero detrítico libre en el sudeste de la provincia de Buenos Aires sobre la denominada Llanura Interserrana Bonaerense, utilizando para esto el método de variación de nivel freático. Los resultados obtenidos establecen una recarga total variable entre 14.4 y 18.7% de la precipitación. Se plantean también datos de recarga mensual y datos de almacenamiento específico máximos, estos últimos con valores que oscilan entre 9.9 y 13.6%.

Palabras claves: recarga, nivel freático, almacenamiento específico.

Introducción

La vasta llanura que se extiende entre las sierras septentrionales (Tandilia) y las sierras australes (Ventania) en la provincia de Buenos Aires, República Argentina, es denominada Llanura Interserrana Bonaerense. Las características geológicas, geomorfológicas y climatológicas de esta llanura permiten el desarrollo de suelos de alta productividad, lo que la convierte en una de las zonas de mayor desarrollo agrícola del país. Esta actividad es altamente dependiente de la disponibilidad del recurso hídrico tanto superficial como subterráneo (Kruse, 1993; Kruse *et al.*, 1998; Campo de Ferreras y Piccolo, 2002). La escasez de fuentes superficiales con caudales apropiados para su aprovechamiento hace que el acuífero freático sea la principal fuente de suministro de agua en esta región del país.

Se entiende por recarga o infiltración eficaz el agua que atraviesa el límite inferior de la zona no saturada, llega al acuífero y produce ascensos medibles del nivel freático (Sophocleus, 2002). Existen diversas técnicas para cuantificar este parámetro, pero elegir las apropiadas es a menudo difícil, especialmente por la necesidad de considerar la variación espacio-temporal, el rango y la fiabilidad de los datos usados para cada técnica (Scanlon *et al.*, 2002).

El objetivo de este trabajo es estimar la recarga al acuífero freático regional denominado Pampeano, utilizando el método de variaciones de nivel freático (VNF) y obtener nuevos valores de almacenamiento específico. El método de VNF requiere para su aplicación de series continuas de mediciones de nivel en el acuífero y un valor de almacenamiento específico.

Asume que todos los ascensos en el nivel son atribuibles a eventos de recarga (Scanlon *et al.*, 2002).

Trabajos similares para este acuífero han sido realizados por Venecio y Varni (2003) en la zona de Rafaela y Oliveros (provincia de Santa Fe), estimando recargas variables de 15 y 10%. Ferreira *et al.* (2009), para la misma zona, utilizando series de tiempo más largas, ajustan la recarga a valores entre el 8.7 y 13.8% de la precipitación. Varni y Weinzetel (2009), para la zona de Azul (provincia de Buenos Aires), utilizando el método de VNF, definen recargas entre 12 y 20%, con un valor máximo de 54%. Bocanegra *et al.* (2005), para la zona analizada en este trabajo, definen una recarga del 10% de la precipitación, utilizando para ello el método de balance a nivel del suelo. Los valores de porosidad eficaz calculados para este acuífero son escasos. Auge (2004), en la zona de La Plata, define un rango entre 5 y 10%; por su parte, Ruiz de la Garreta *et al.* (2007) cuantifican en el partido de Tandil valores de 10%; Venecio y Varni (2003), y Ferreira *et al.* (2009) encuentran valores inferiores al 10% para la zona de Rafaela y Olivos.

Características del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en el sector sureste de la Llanura Interserrana Bonaerense, entre los 38° 39' 34" y 37° 34' 23" de latitud sur, y los 59° 6' 50" y 58° 16' 28" de longitud oeste, con una elevación máxima de 420 msnm (figura 1). El clima es subhúmedo-seco, con nulo o pequeño exceso de agua a los efectos agronómicos, y conforme a su eficiencia térmica, de tipo mesotermal "B2" (Thorntwaite, 1948). Los valores anuales de precipitaciones se encuentran entre 698 y 1 289 mm/año, para los últimos 14 años, con un promedio de 907 mm/año. Los mayores valores de precipitación se encuentran entre los meses de septiembre y marzo. El acuífero Pampeano es de carácter libre, con espesores que pueden alcanzar los 200 m; está constituido por sedimentos limo-arenosos cuaternarios

(Varela y Teruggi, 2001), seguramente con algún grado de semi-confinamiento a profundidad. El basamento hidrogeológico está conformado por las ortocuarcitas de la formación Balcarce (Amos *et al.*, 1972), que afloran en las sierras que limitan la zona al norte y/o por rocas ígneo-metamórficas del basamento cristalino precámbrico (Dalla-Salda *et al.*, 2005).

Metodología

Para este trabajo se contó con datos de tres zonas distintas (figura 1): zona 1, estancia Moro Viejo (pozos G111 y G113); zona 2, estancia Malalthuel Chico (pozo G201), y zona 3, Escuela Agropecuaria de Lobería (Pozo G204). Para la zona 1 se utilizaron datos de nivel tomados desde el año 2003, con una sonda bipolar graduada al centímetro; estos datos tiene una periodicidad quincenal o mensual. Por su parte, en las zonas 2 y 3 se utilizaron freatómetros marca Gélica LF-324, los cuales registran datos diarios de nivel desde el año 2007. En cada caso se obtuvieron datos mensuales promedios de nivel freático para realizar este trabajo. Cada una de estas zonas cuenta además con datos de precipitación diaria.

Con el objetivo de observar la relación entre los cambios del nivel de agua en el acuífero y los valores de precipitación, se obtuvo el coeficiente de correlación existente entre estas dos variables (Mondal *et al.*, 2011), para esto se utilizó la siguiente fórmula:

$$r = \frac{\sum PD}{n\delta p\delta d}$$

Donde P y D son las desviaciones de los valores mensuales en relación con el valor medio general de precipitación y profundidad del nivel en el acuífero respectivamente; δp y δd son las desviaciones estándar de cada una de las series; n es el número de datos utilizados.

Para la estimación del almacenamiento específico se seleccionaron los ascensos de

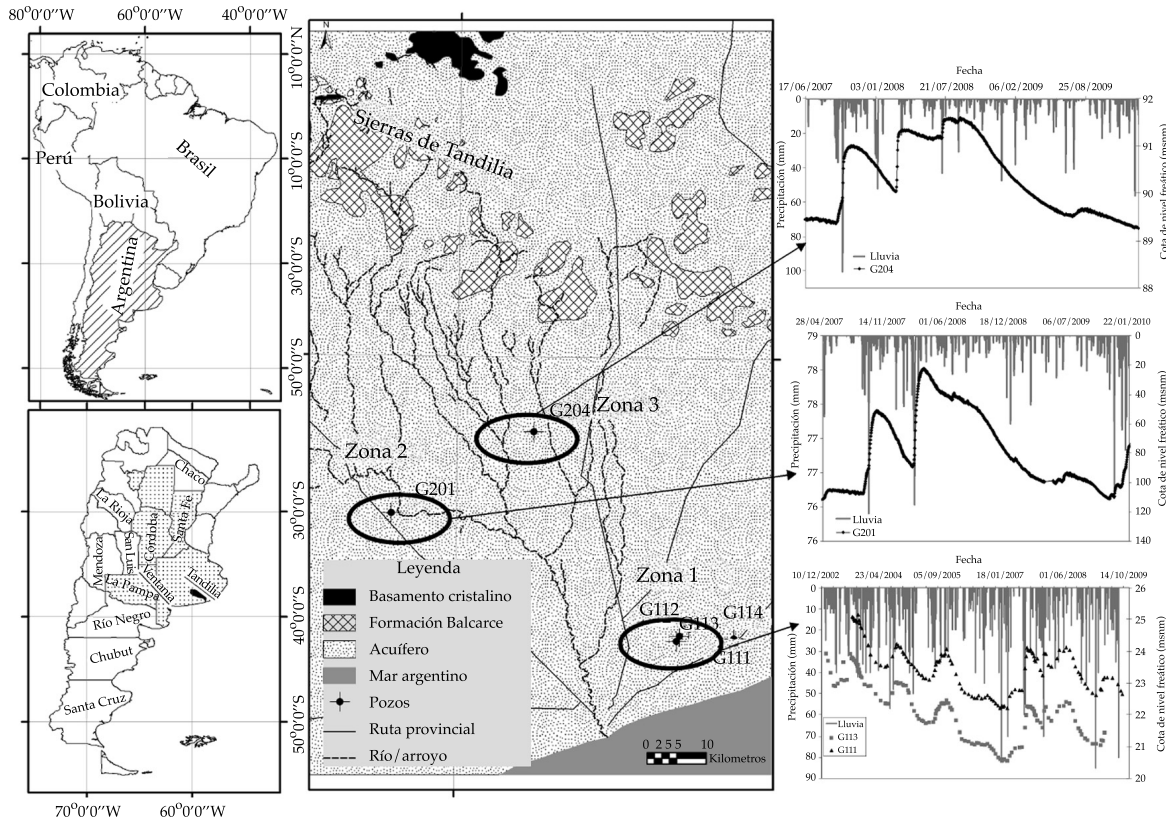


Figura 1. Mapa de localización.

nivel debido a precipitaciones individuales o aquellas atribuibles a un conjunto de precipitaciones, de tal manera que no llegue a producirse un descenso en el acuífero entre ellas y que manifiesten un único ascenso de nivel. Así, los pares de valores correspondientes a ascensos de nivel freático y precipitaciones que los generaron se volcaron en un gráfico X-Y, y se trazó la recta que pasa por el origen y que contiene a todos los puntos medidos. El valor inverso de la pendiente de esa recta es un valor máximo del almacenamiento específico del acuífero. Este valor es máximo porque podrían existir pares de valores de precipitación-ascenso no registrados y que indiquen una porosidad efectiva aun menor (Venecio y Varni, 2003).

Por último, se aplicó el método de variación nivel freático (VNF) (Healy y Cook, 2002). Este método es sencillo, de bajo costo y aplicable a acuíferos freáticos poco profundos, con respuesta rápida de los niveles freáticos a los fenómenos de recarga. Es uno de los métodos más utilizados en el mundo para estimar la entrada de agua a acuíferos libres. Requiere para su aplicación de la estimación previa del coeficiente de almacenamiento específico y mediciones temporales de nivel. El cálculo de la recarga con esta metodología parte de un modelo de balance del agua subterránea para la cuenca (Schicht y Walton, 1961), el cual puede ser simplificado de la siguiente manera:

$$R = \Delta S^{gw} + Q^{bf} + ET^{gw} + Q_{off}^{gw} - Q_{on}^{gw}$$

Donde Q_{off}^{gw} es el flujo subterráneo entrante; Q_{on}^{gw} , el flujo subterráneo saliente; ΔS^{gw} , el cambio en el almacenamiento; Q^b , el flujo base, y ET^{gw} es la evapotranspiración desde el acuífero

Los últimos dos términos de la ecuación incluyen los pozos de bombeo y/o recarga existentes en la zona para la cual se realiza el balance. El método de VNF se basa en la premisa de que aumentos en la superficie freática en acuíferos libres se deben a la incorporación de agua procedente desde la superficie. El cálculo de la recarga según este método es definido por la siguiente expresión matemática:

$$R = \frac{S_y dh}{dt} = \frac{S_y \Delta h}{\Delta t}$$

Donde R es la recarga; S_y , el almacenamiento específico; h , la altura de la tabla de agua, y t es el tiempo.

Esta ecuación asume que toda el agua que alcanza el nivel freático llega inmediatamente al almacenamiento y que todos los otros componentes de la ecuación general de recarga son cero durante el tiempo de duración del evento, lo que hace que el tiempo sea crítico en el éxito del método. La valoración de la recarga se realiza estimando el valor de Δh , el cual obedece a la diferencia entre el pico más alto del gráfico nivel-tiempo y un punto extrapolado desde la curva de descenso anterior, para cada lapso seleccionado (Healy y Cook, 2002).

Resultados

Coefficientes de correlación

Los valores de coeficiente de correlación obtenidos utilizando todos los datos de precipitación y nivel, aunque en todos los casos positivos, son bajos (zona 1 = 0.075; zona 2 = 0.15; zona 3 = 0.028). Esto debido posiblemente al desfase que existe entre el tiempo en que el agua cae sobre la superficie y el tiempo en que la misma ingresa al acuífero. Además,

debe tenerse en cuenta que el agua comienza a infiltrarse sólo cuando la capacidad de campo del suelo es satisfecha, es decir, no toda el agua que llega a la superficie alcanza al acuífero. Esto sólo se logra en eventos de alta precipitación o en aquellos precedidos por precipitaciones que suministran agua suficiente para satisfacer la necesidad de humedad del suelo. Para validar esto, se realizó la misma correlación en los meses en que las precipitaciones fuesen mayores a 100 mm. El resultado de este segundo análisis fue el siguiente: para la zona 1 = 0.169, para la zona 2 = 0.65 y para la zona 3 = 0.51. En todos los casos, la correlación sigue siendo positiva, pero con valores mucho más altos que los iniciales. En la figura 1 puede observarse que los mayores cambios de nivel del acuífero se presentan en forma general después de precipitaciones intensas con diferencias de tiempo que van entre los 15 y 45 días.

Almacenamiento específico

Para obtener este parámetro se graficaron, en cada uno de los pozos evaluados, los ascensos de nivel respecto a las precipitaciones que los generaron (figura 2). Su valor fue obtenido con la inversa de la pendiente de la recta que envuelve a todos los puntos graficados. Los valores encontrados fueron 11.8, 9.9, 13 y 13.6 para los pozos G111, G113 (zona 1), G201 (zona 2) y G204 (zona 3), respectivamente.

Recarga

Se realizó un análisis de la recarga en milímetros por mes. Este análisis, llevado a cabo en lapsos diferentes, indica una recarga media mensual variable entre 9.8 y 16.8%. Los valores de recarga total encontrados con referencia a la precipitación en cada uno de los pozos analizados fue la siguiente: G111 = 16.7% y G113 = 14.4% (zona 1); G201 = 16.9% (zona 2), y G204 = 18.7% (zona 3). Los valores más altos de recarga se registraron entre los meses de marzo y septiembre.

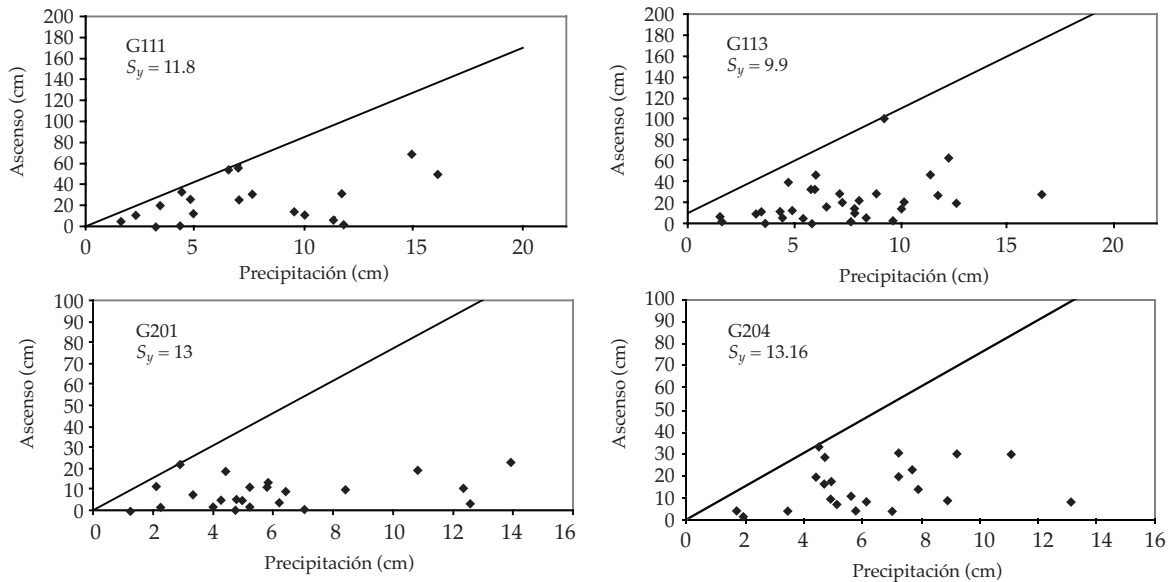


Figura 2. Ascenso de nivel freático y precipitaciones que los produjeron. Valores de almacenamiento calculados.

Discusión

Los datos analizados, aunque con periodos de tiempo diferentes, muestran un comportamiento similar en el acuífero. Se establece una estacionalidad en los ascensos de nivel relacionados directamente con la recarga. Ésta se da especialmente en las estaciones de otoño e invierno, donde el descenso de las temperaturas y la continuidad en la lluvia, sumado a las bajas pendientes topográficas, hacen que el agua permanezca más tiempo sobre la superficie, con suficiente tiempo para su infiltración. En estas estaciones se observa una respuesta rápida del acuífero ante eventos extremos de precipitación, siendo más notoria cuando son precedidos por otras lluvias y la humedad en el suelo es alta. El incremento de los coeficientes de correlación al considerarse sólo los meses con precipitaciones mayores a 100 mm confirman esta observación.

En los meses de primavera y verano, cuando las temperaturas comienzan a ser mayores, la evaporación comienza a exceder a la

precipitación, ocurriendo un descenso en el nivel del agua en el acuífero, interpretado como una descarga natural del mismo. Si se observan los gráficos de variación del nivel (figura 1), se puede ver que las curvas de descenso tienen una alta pendiente, la cual va disminuyendo a medida que el nivel se va profundizando y se acerca a los meses más fríos, cuando predomina la recarga.

Analizando los registros más extensos en el tiempo, correspondientes a los pozos de la zona 1, se puede inferir una tendencia general al descenso del nivel, con un periodo de recuperación del acuífero desde el año 2008. La tendencia al descenso en los primeros años de monitoreo se debe posiblemente a que el acuífero se encuentra retornando a su nivel normal, acorde con las precipitaciones regionales después del último gran evento de inundación ocurrido a finales del año 2002. Esto sólo podrá definirse adecuadamente si las mediciones se continúan realizando durante un periodo de tiempo más largo, permitiendo confirmar la tendencia real en la variación del nivel en el acuífero.

Los valores de recarga neta media mensual obtenidos varían entre 9.8 y 16.8% de la precipitación. Por su parte, la recarga total en los diferentes sitios, con periodos de tiempo distintos, osciló entre 14.4 y 18.7%, valores muy similares entre sí. Todos estos resultados son coincidentes con los reportados por Venecio y Varni (2003), Ferreira *et al.* (2009), Varni y Weinzetel (2009), y Quiroz-Londoño (2009), para este acuífero en periodos de tiempo y sitios diferentes. Sin embargo difieren de los definidos por Bocanegra *et al.* (2005) para la misma zona mediante el método de balance. La sobreestimación de la evapotranspiración a partir de datos teóricos de temperatura utilizados en dicho método puede ser la causa de tal diferencia.

Los almacenamientos específicos definidos en este trabajo están en el rango de 9.9 y 13.6%, siendo cercanos a los valores establecidos por otros autores para el acuífero Pampeano. Debe tenerse en cuenta que los valores determinados por esta metodología son valores máximos y pueden ir ajustándose con un mayor número de mediciones.

Conclusiones

Toda la información obtenida en este trabajo, aunque puede y debe ser mejorada con un mayor número de registros y la inclusión de más puntos de medición, incrementa el conocimiento del acuífero Pampeano. Los valores de recarga y almacenamiento específico obtenidos mediante la técnica de variación de nivel freático, se convierten en un insumo importante para ser utilizados tanto en el modelo conceptual del acuífero como en la modelación matemática del mismo, siempre propendiendo por un uso sustentable del recurso hídrico.

La variación del nivel del acuífero en esta zona de la Llanura Interserrana Bonaerense presenta un comportamiento estacional. Los datos obtenidos en cada una de las zonas permiten establecer los meses entre marzo y septiembre como periodos de mayor recarga.

El acuífero presenta una respuesta rápida ante eventos de máximas precipitaciones, cuando éstas han sido precedidas por otras de menor intensidad, y la capacidad de campo está en o cerca de su máximo valor.

Según la tendencia en la variación de niveles, podría esperarse un ascenso importante del nivel del acuífero para el segundo semestre del año si se presentaran lluvias intensas los meses de marzo y abril. Esta información podría ser usada como un indicador importante ante fenómenos de inundación. Este dato debe ser evaluado y ajustado a medida que se vaya generando o recopilando un mayor volumen de información.

Los valores de recarga fueron calculados en forma mensual y fluctuaron entre 9.8 y 16.8% de la precipitación. Por su parte, los valores máximos de almacenamiento específico calculados con este método oscilaron entre 9.9 y 13.6%.

Agradecimientos

A los propietarios y empleados de las estancias El Moro Viejo, Malalthuel Chico y al personal de la Escuela Agropecuaria de Lobería, por la colaboración brindada en la recopilación de datos e instalación de equipos. Al Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), por el apoyo económico en la compra de equipos para medición de nivel.

Recibido: 13/05/10
Aceptado: 20/10/11

Referencias

- AMOS, A.J., QUARTINO, B.J. y ZARDINI, R.A. *El grupo "La Tinta" (provincia de Buenos Aires) ¿Paleozoico o Precámbrico?* Vol. 1, núm. 1. XXV Congr. Bras. Geol., Sao Paulo, 1972, pp. 211-221.
- AUGE, M. *Vulnerabilidad de acuíferos: conceptos y métodos* [en línea]. Buenos Aires, 2004. Disponible para World Wide Web : www.gl.fcen.uba.ar/investigacion/grupos/hidrogeologia/auge/Vulnerabilidad-Conceptos.pdf.
- BOCANEGRA, E., MARTÍNEZ, D., MASSONE, H. y FARENGA, M. *Modelación numérica preliminar del flujo*

- subterráneo de la cuenca del río Quequén, provincia de Buenos Aires. Vol. 1, núm. 1. IV Congreso Argentino de Hidrogeología, Río Cuarto, Córdoba, del 25 al 28 de octubre de 2005, pp. 191-200.
- CAMPO DE FERRERAS, A.M. y PICCOLO, M.C. Hidroquímica del Arroyo Pescado Castigado. *Actas III Jornadas Nacionales de Geografía Física*. Vol. 1, núm. 1. Santa Fe, Argentina: Universidad Católica de Santa Fe, 2002, pp. 97-103.
- DALLA-SALDA, L., DE BARRIO, R.E., ETCHEVESTE, H.J. y FERNÁNDEZ, R.R. El Basamento de las Sierras de Tandilia. *Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del 16° Congreso Geológico Argentino IV*. La Plata, provincia de Buenos Aires, Argentina, 2005, pp. 31-50.
- FERREIRA, G., RODRÍGUEZ, L., VONNET, C., CHOQUE, J. y MARANO, P. *Avances en el conocimiento del acuífero libre de la cuenca del arroyo Cululú (provincia de Santa Fe)*. Vol. 1, núm. 1. VI Congreso Nacional de Hidrogeología y IV Seminario Hispanoamericano de Temas Actuales de la Hidrogeología Subterránea, Santa Rosa, La Pampa, Argentina, del 24 al 28 de agosto de 2009, pp. 147-157.
- HEALY, R.W. and COOK, P.G. Using groundwater levels to estimate recharge. *Hydrogeology Journal*. Vol. 10, No. 1, 2002, pp. 91-109.
- KRUSE, E. El agua subterránea y los procesos fluviales en la región Centro Oriental de la Provincia de Buenos Aires. *Caracterización ambiental de la provincia de Buenos Aires*. C.I.C. La Plata. Año II, núm. 15, 1993, pp. 13-31.
- KRUSE, E., VARELA, L., LAURENCENA, P. y DELUCHI, M. Efectos del agua subterránea en la configuración de los cauces de la llanura interserrana de la provincia de Buenos Aires. *Actas del X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de Geología Económica*. Vol. I. Buenos Aires, 1998, pp. 340-344.
- MONDAL, N.C., SINGH, V.P., and SANKARAN, S. Demarcation of prospective groundwater recharge zones in hard rock area from Southern India. *Scientific Research and Essays*. Vol. 6, No. 16, 2011, pp. 3539-3552.
- QUIROZ-LONDOÑO, O.M. *Hidrogeología e hidrogeoquímica de las cuencas de los arroyos Tamangueyú y El Moro, Provincia de Buenos Aires*. Tesis doctoral. Río Cuarto, Argentina: Universidad Nacional de Río Cuarto, 2009, 292 pp.
- RUIZ DE LA GARRETA, A., VARNI, M., BANDA, N.R. y BARRANQUERO, R. *Caracterización geohidrológica preliminar en la cuenca del arroyo Langueyú, partido de Tandil, Buenos Aires*. V Congreso Argentino de Hidrogeología, Paraná, Entre Ríos, Argentina, 2007, pp. 119-128.
- SCANLON, B.R. and HEALY, R.W. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. *Hydrogeology Journal*. Vol. 10, No. 1, 2002, pp. 18-39.
- SCHICHT, R.J. and WALTON, W.C. *Hydrologic budgets for three small watersheds in Illinois*. No. 40. Illinois State Water Surv. Rep. Invest., 1961, 40 pp.
- SOPHOCLEUS, M. Interaction between groundwater and surface water: the state of the science. *Hydrogeology Journal*. Vol. 10, No. 1, 2002, pp. 52-67.
- THORNTWAITE, C.W. An approach towards a rational classification of climate. *Geographical Review*. Vol. 38, No. 1, January, 1948, pp. 55-94.
- VARELA, L. y TERUGGI, L. Caracterización hidrológica de la cuenca del río Quequén Grande, provincia de Buenos Aires. *Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas y Planificación Territorial*. Vol. 1, 2001, pp. 19-29.
- VARNI, M. y WEINZETEL, O. *Análisis de registros freáticos en la cuenca del arroyo Azul*. VI Congreso Nacional de Hidrogeología y IV Seminario Hispanoamericano de Temas Actuales de la Hidrogeología Subterránea, Santa Rosa, La Pampa, Argentina, del 24 al 28 de agosto de 2009, pp. 299-307.
- VENECIO, M. y VARNI, M. *Estimación de la recarga y del almacenamiento específico a través de análisis de registros de nivel freático*. III Congreso Argentino de Hidrogeología y I Seminario Hispano-Latinoamericano sobre Temas Actuales de la Hidrogeología Subterránea, Rosario, Argentina, 2003, pp. 153-160.

Abstract

QUIROZ-LONDOÑO, O.M., MARTÍNEZ, D. & MASSONE, H. *Estimating aquifer recharge in plains environments based on groundwater level variations*. Water Technology and Sciences (in Spanish). Vol. III, No. 2, April-June, 2012, pp. 123-130.

Groundwater recharge estimation is one of the major unknowns when generating both conceptual and numerical hydrogeological models. Aquifer recharge refers to water that crosses the lower limit of the non-saturated zone, reaches the aquifer and produces measurable increases in the water table level. Though several techniques currently exist to quantify this, selecting that which is most appropriate is often difficult, especially because of the need to consider the spatial-time variation, range and data reliability of each methodology. The main objective of this study is to estimate the recharge value in the unconfined detritic aquifer in the southeast province of Buenos Aires known as the Bonaire Intermountain Plains Region, using the water table fluctuation method. A northwestern portion of the intermountain plains of this province was selected as a pilot area. The results provided a total recharge value ranging from 14.4 to 18.7% of the total rainfall. This study also presents monthly recharge data and maximum specific yield values, the latter with values between 9.9 and 13.6%.

Keywords: recharge, phreatic level, specific yield.

Dirección institucional de los autores

Orlando Mauricio Quiroz Londoño
Héctor Massone

Universidad Nacional de Mar del Plata
Centro de Geología de Costas y del Cuaternario
CC 722, Mar del Plata, ARGENTINA
Teléfono: +54 (223) 4754 060
qlondono@mdp.edu.ar
hmassone@mdp.edu.ar

Daniel Martínez

CONICET
Universidad Nacional de Mar del Plata
Centro de Geología de Costas y del Cuaternario
CC 722, Mar del Plata, ARGENTINA
Teléfono: +54 (223) 4754 060
demartit@mdp.edu.ar