

---

**Nivel freático, recarga y caudal básico en la cuenca del arroyo Del Azul**

**Sofía Zeme<sup>1,2</sup>, Marcelo Varni<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires

<sup>2</sup>Instituto de Hidrología de Llanuras.

República de Italia 780, C.C. 47 (B7300). Azul, Buenos Aires, Argentina

[sofiazeme@gmail.com](mailto:sofiazeme@gmail.com)

Zeme, S. & Varni, M. (2015). Nivel freático, recarga y caudal básico en la cuenca del arroyo Del Azul. *Revista Estudios Ambientales*, 3 (2), 14-29.

**Recibido:** 13 de octubre de 2015

**Publicado:** 30 de diciembre de 2015

## RESUMEN

Se analizan registros freaticos continuos de 2007 a 2014 en seis perforaciones ubicadas en la cuenca del arroyo del Azul. Las perforaciones son de poca profundidad (menores a 6 m) porque su objetivo es monitorear el nivel freático, y se distribuyen tanto en la zona de cabeceras como en el sector llano. Se identifican períodos más secos, con niveles más profundos, y períodos húmedos, con niveles que llegan a alcanzar 0,5 m de profundidad. La recarga se calcula mediante el método de fluctuación del nivel freático, para lo cual es necesario estimar el almacenamiento específico en la ubicación de cada pozo. Ello se hace mediante un procedimiento gráfico donde se vuelcan los eventos precipitación-ascenso de nivel. Se calculan las recargas totales mensuales medias y las variaciones de almacenamiento para cada pozo en el período analizado. Finalmente, se analiza la relación entre el nivel freático en cada perforación y el caudal base en una sección del arroyo del Azul.

**Palabras clave:** Tandilia, pampa deprimida, almacenamiento específico, fluctuación del nivel freático, caudal básico.

## ABSTRACT

Groundwater continuous records from 2007 to 2014 in six wells located on the Azul Creek watershed are analyzed. The wells are shallow (less than 6 m) because its objective is to monitor the water table, and are distributed both in the headers and in the plain sector. Drier periods, with deeper levels, and wet periods, with levels that can reach only 0.5 m depth are identified. Recharge is calculated by the water table fluctuation method, for which is necessary to estimate the specific yield for the location of each well. This is done through a graphical procedure where precipitation-level rise events are included. Total mean monthly recharge and storage variations for each well in the period under analysis are calculated. Finally, the relationship between the groundwater level in each well and base flow in a section of the Azul Creek is analyzed.

**Keywords:** Tandilia, depressed Pampa, specific yield, water table fluctuation method, base flow.

## INTRODUCCIÓN

### *Características climáticas y de la cuenca en general*

La cuenca del arroyo del Azul se ubica en el centro de la provincia de Buenos Aires, entre los 58° 51' y 60° 10' de longitud Oeste y 36° 09' y 37° 19' de latitud Sur. Con una superficie de 6.237 km<sup>2</sup>, abarca la casi totalidad del partido de Azul y algunos sectores de los partidos de Las Flores, Rauch, Tapalqué, Olavarría y Benito Juárez. Según los datos aportados por la Estación Azul Aero del Servicio Meteorológico Nacional, la temperatura media mensual es de 14,4°C (período 1966-2011; máximas en enero, con 21,5°C y mínimas en julio, con 7,6°C), mientras que la precipitación media alcanza los 911 mm (1901-2011), destacándose marzo como el mes más lluvioso (120 mm) y agosto como el más seco (44 mm). El clima del partido se define entonces como subhúmedo-húmedo, mesotermal, con poca o nula deficiencia de agua (Thorntwaite y Mather, 1957). Las cabeceras de cuenca se encuentran asociadas al Sistema Serrano de Tandilia, sector que se halla por encima de los 200 m.s.n.m., al sur del partido de Azul y que representa tan sólo un 10% del total del área (cuenca alta). Inmediatamente al norte es posible reconocer una llanura con suaves ondulaciones, que se desarrolla hasta los 130 m.s.n.m. y oficia de transición entre los dos subsistemas principales (cuenca media). La cuenca baja, con más del 60% de representación espacial, está compuesta por una amplia llanura en la que la pendiente disminuye gradualmente desde 0,2% en cercanías de la ciudad de Azul hasta 0,1%, hacia el límite nororiental del Partido, punto que se encuentra aproximadamente a 60 m.s.n.m. (Fig. 1).

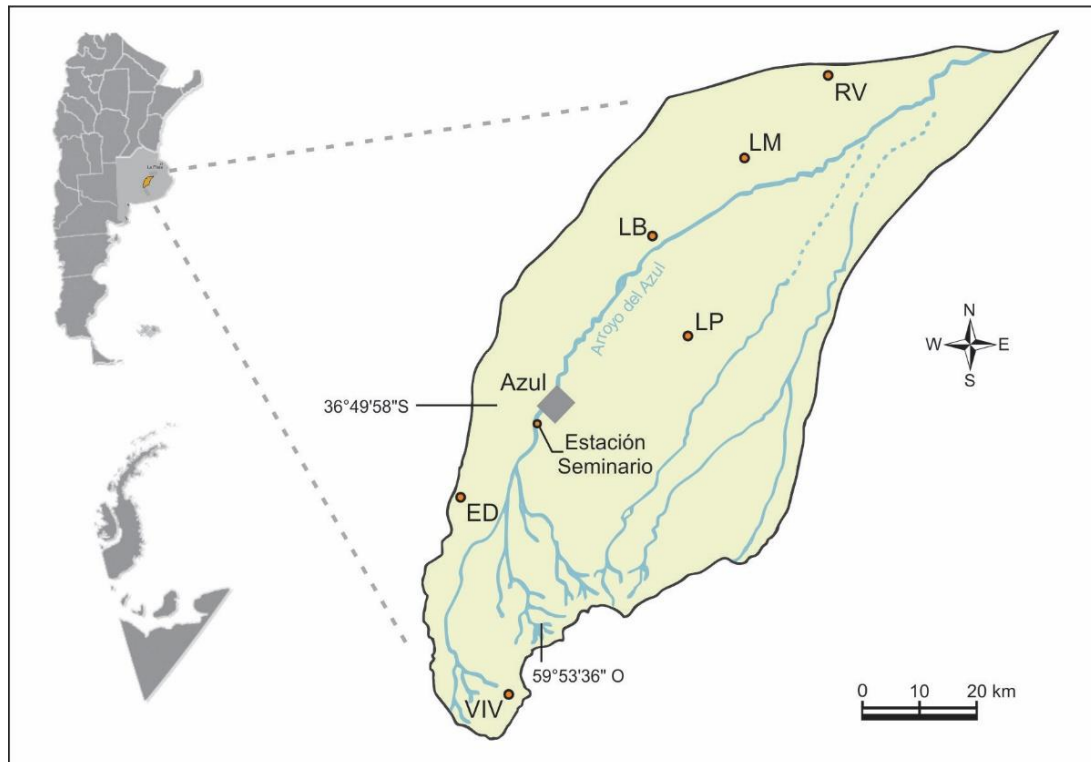


Figura1. Localización de las estaciones analizadas dentro de la cuenca del arroyo del Azul.

#### *Modelo hidrogeológico conceptual*

De acuerdo con lo expuesto por Varni (2013), la parte superior de la cuenca (cuenca alta) se encuentra constituida por lomadas con basamento hidrogeológico cercano a la superficie del terreno (espesores sedimentarios máximos de 10 m, aproximadamente). En esta zona, el material sedimentario presenta una granulometría más gruesa que en la llanura, condición que se traduce en permeabilidades considerablemente mayores (las velocidades efectivas del agua subterránea se estiman en unos 10 m/d). El agua que infiltra suele fluir hacia los cursos de agua sobre el basamento y manifestarse en éstos como caudal base. El área de cuenca alta se comporta mayormente como de recarga, estando las zonas de descarga restringidas a los cursos de agua y su zona aledaña. El aporte de agua de la cuenca superior a la de transición (cuenca media) se produce a través de los cursos de agua y, de manera subterránea, por los valles que alojan a estos cursos. En esta zona las pendientes disminuyen de forma progresiva y el paisaje pasa a ser suavemente ondulado. El basamento hidrogeológico se profundiza de manera gradual hasta llegar a unos 100 m de profundidad en el extremo norte de esta zona, aguas arriba de la ciudad de Azul. El agua recargada verticalmente

por precipitación al acuífero freático aporta al flujo regional subterráneo y al flujo base de los cursos de agua. El flujo subterráneo regional es el que está fuera de la zona de influencia de los cursos de agua y el que se produce dentro de esta zona, pero que circula por debajo de los cursos y no descarga en ellos. La velocidad efectiva media del agua subterránea es de 1,5 m/d, aproximadamente, y la profundidad de los niveles freáticos tiene valores medios entre 2,5 y 4 m. La zona llana (cuenca baja) se ubica inmediatamente al norte de la zona de transición y constituye una extensa planicie cuya pendiente topográfica disminuye de manera progresiva en dirección Norte. En la cuenca baja el área de influencia de los cursos de agua es de poco alcance, debido a la prácticamente nula pendiente en sentido transversal al eje de la cuenca. Los niveles freáticos se encuentran muy cercanos a la superficie del terreno (menos de 2 m) e intercambian agua con cuerpos de agua temporarios que se alojan en pequeñas depresiones que abundan en el paisaje (lagunas y cubetas de deflación). Las velocidades efectivas de flujo varían entre 0,1 y 0,01 m/d, a medida que se avanza hacia el norte. En esta zona, el basamento sigue profundizándose, alcanzando unos 800 m de profundidad en el extremo norte de la cuenca.

En este trabajo se analiza la fluctuación de los niveles freáticos, se realizan estimaciones de la recarga al acuífero freático y se analiza el grado de relación existente entre las aguas subterráneas y superficiales en seis puntos distribuidos la cuenca del Arroyo del Azul, durante el período comprendido entre los años 2007 y 2014. Estos aspectos tienen como finalidad el contribuir al acervo de información relativa a los recursos hídricos de la región, en miras de optimizar su manejo.

## **METODOLOGÍA**

### *Niveles freáticos*

El Instituto de Hidrología de Llanuras (IHLLA) posee una red de pozos de monitoreo instalados a lo largo y ancho de toda la cuenca. Dentro de ese conjunto se encuentran las seis perforaciones someras que han sido utilizadas para la elaboración de este trabajo. Las mismas poseen alrededor de 6 m de profundidad, penetran entre 2 y 3 m en el acuífero freático y cuentan con limnigrafos digitales con sensor piezoresistivo (marca Genica) para el registro del nivel freático, activos desde el 1/10/2006.

### *Datos pluviométricos*

Los valores utilizados corresponden a estaciones meteorológicas locales; una de ellas pertenece al Servicio Meteorológico Nacional (SMN), mientras que las demás se localizan en los mismos campos productivos en donde se encuentran las perforaciones (o en sus inmediaciones). Para la selección de los registros a emplear se ha priorizado la cercanía a los sitios en donde se miden los niveles freáticos, así como también la confiabilidad del dato. Para garantizar este último aspecto, los datos de lluvia han sido sometidos a análisis de correlación entre las diferentes estaciones.

### *Análisis de recarga*

La recarga se ha estimado por medio del método de fluctuación del nivel freático (FNF; Healy y Cook, 2002), aplicable a acuíferos freáticos. Cabe destacar que dentro del área de estudio ha sido aplicado con éxito en cercanías de la ciudad de Azul, en una perforación que cuenta con más de veinte años de datos diarios (Varni et al., 2014). El método está basado en aceptar que los ascensos del nivel freático se deben a la recarga que llega al acuífero.

La ecuación empleada es:

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

donde R es la recarga, h el nivel freático, t el tiempo y  $S_y$  el almacenamiento específico. De acuerdo con Varni (2013), la respuesta del nivel freático a los eventos de recarga es muy rápida debido a su poca profundidad, a la existencia de vías preferenciales de flujo, y al proceso de flujo pistón que se produce en la matriz porosa, lo que determina que el agua que recarga el acuífero no es la que se ha infiltrado recientemente, sino la que ya estaba contenida en los poros del suelo al momento de los eventos de recarga.

Para aplicar el método, se necesita estimar el valor de  $S_y$  a la profundidad de fluctuación del nivel freático.  $S_y$  se define como (Healy, 2010)

$$S_y = \phi - S_r$$

donde  $\phi$  es la porosidad y  $S_r$  la retención específica. Para la determinación de  $S_y$  se usan métodos de laboratorio, ensayos de bombeo, balances de agua y el análisis de la respuesta del nivel freático a la recarga.

Dadas las características de la cuenca, se ha optado por emplear el método de análisis de respuesta del nivel freático a la recarga, el cual es válido para niveles freáticos someros y parece ser el que provee mejores estimaciones de Sy (Crosbie et al., 2005). Para ello se ha calculado el cociente entre el ascenso de nivel freático y la precipitación que lo originó para todos los eventos registrados (Risser et al., 2005). Los datos utilizados son a nivel diario. Finalmente, el Sy se ha determinado a través de un procedimiento gráfico, especialmente adecuado en sitios en donde ocurre una respuesta rápida de ascenso de niveles tras la ocurrencia de precipitaciones, y cuya exactitud aumenta en tanto lo hace la cantidad de eventos precipitación-recarga disponibles (Varni et al., 2013).

#### *Caudal básico*

El caudal básico del Arroyo del Azul ha sido determinado a través de hidrogramas medidos en la estación Seminario (Fig. 1) y la separación del caudal superficial del básico se realizó por medio de la utilización de un filtro digital recursivo (Rodríguez et al., 2000).

## **RESULTADOS**

#### *Profundidad del nivel freático*

La Fig.2 exhibe la evolución de la profundidad media mensual del nivel freático en cada una de las perforaciones durante el período analizado. Se observan algunas interrupciones en los registros por fallas temporarias en los equipos. A modo de referencia, se han incorporado también los datos de precipitaciones provistos por la estación Azul SMN, ubicada en la cuenca media. Las profundidades mínimas se dan en 2012 y 2014, donde alcanzan sólo 50 cm en varios de los pozos, principalmente en RV y LB, ambos ubicados en el área plenamente llana del área de estudio. Los niveles freáticos siguen las variaciones climáticas: así, podemos indicar que los registros se inician en un año relativamente húmedo (2007), y luego se entra en un período seco (de 2008 a 2011 inclusive). Finalmente, se ingresa nuevamente a un período húmedo, de 2012 a 2014, que es cuando se alcanzan los niveles más elevados.

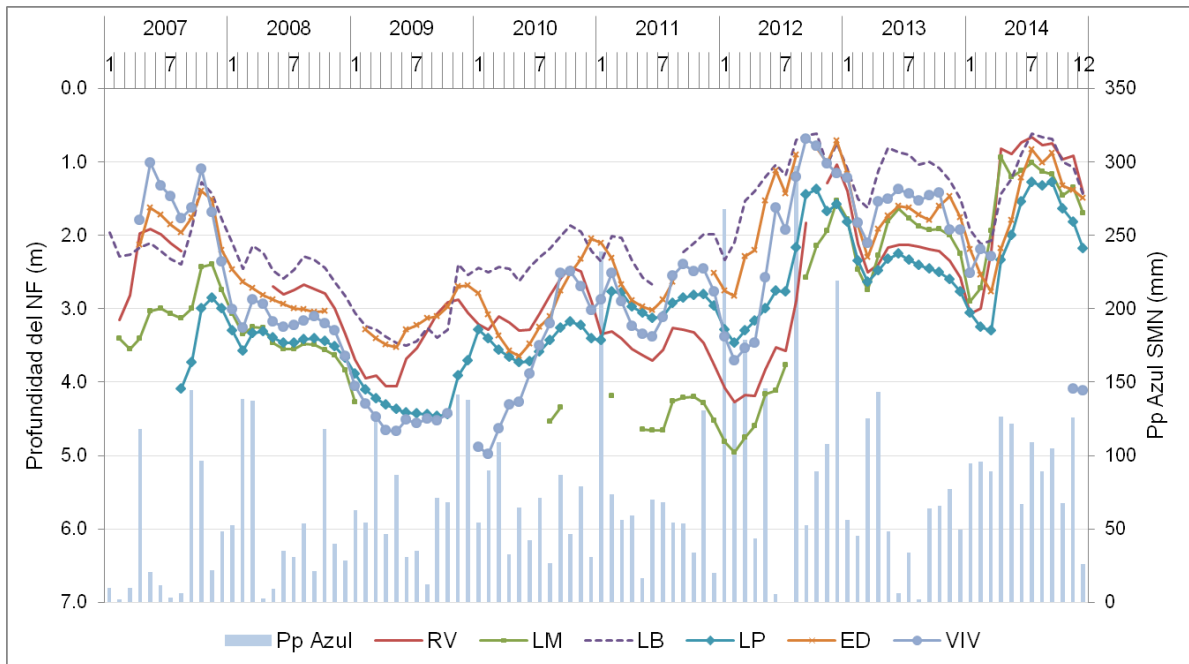


Figura 2. Evolución de la profundidad de los niveles freáticos y de las precipitaciones de la estación Azul SMN durante el período analizado.

#### *Estimación del almacenamiento específico*

La Fig.3 muestra la relación entre eventos de precipitaciones y ascensos de nivel freático para las seis perforaciones analizadas. Las rectas envolventes de los puntos Precipitación-Ascenso tienen una pendiente cuya inversa es el valor de  $S_y$  buscado y, en este caso, se asocian a valores de  $S_y$  que oscilan entre 0,09 y 0,12. Como se puede observar en las figuras, hay ciertos puntos que quedan por encima de la recta elegida, los cuales han sido descartados tras la realización de una observación detallada por tener valores dudosos de precipitación o de ascenso, o de ambos. En la parte inferior derecha de cada figura se incluye el número de eventos utilizados en el análisis (n).



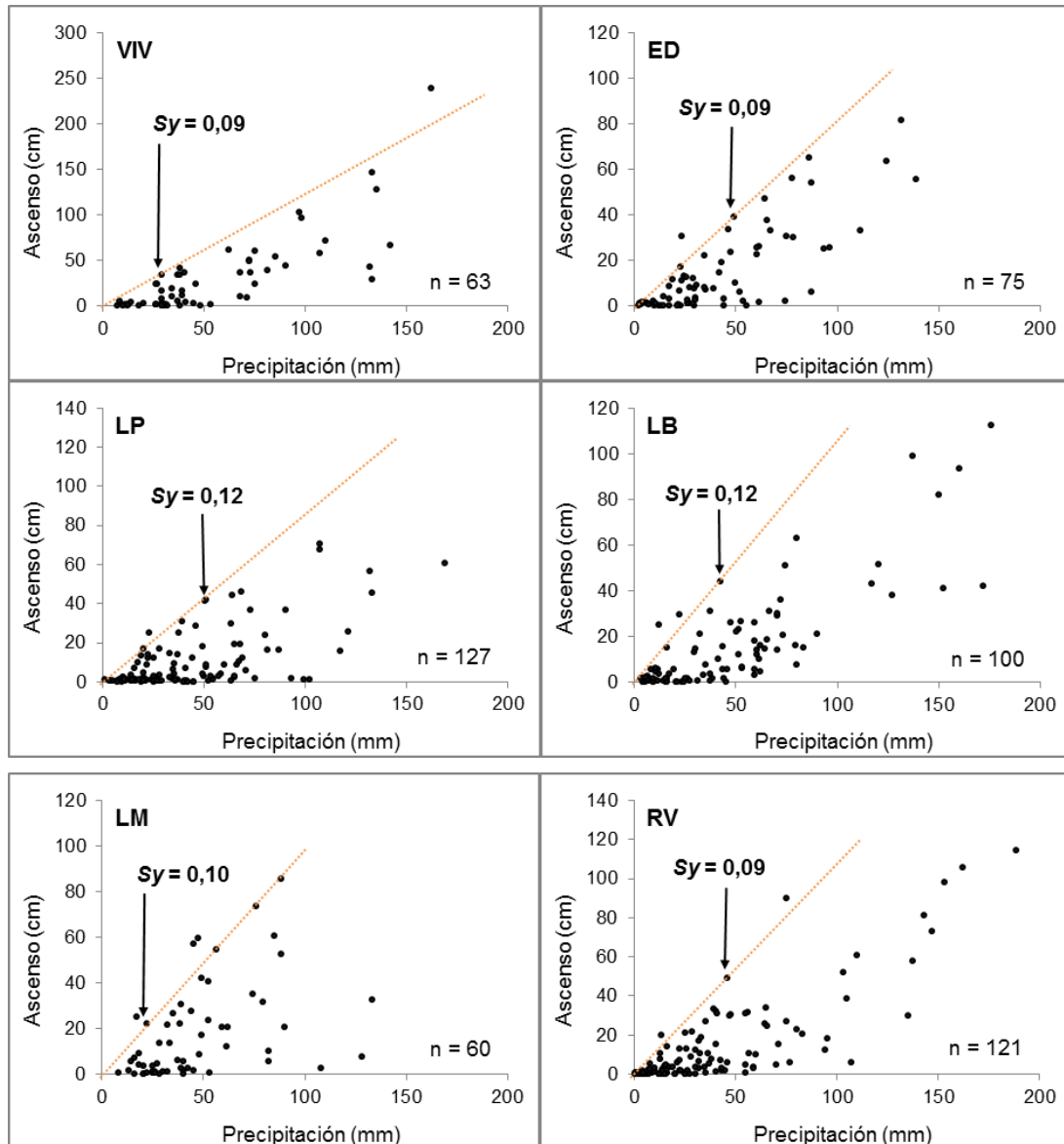


Figura 3. Gráficos para la determinación de Sy.

### Recarga mensual

A continuación, se muestran las recargas totales medias mensuales (Tabla 1 y Fig.4), y luego la variación del almacenamiento medio mensual (Fig.5). La recarga total se obtiene sumando los ascensos producidos en cada evento de recarga del mes y luego multiplicado por el almacenamiento específico. Por otra parte, la variación de almacenamiento en el mes es igual a la diferencia entre los niveles a principio y a fin de mes multiplicada por el almacenamiento específico.

Tabla 1. Recarga total media mensual (mm) para el período 2007-2014.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
VIV	22,1	5,2	26,5	42,5	62,5	18,4	27,7	41,8	41,2	33,3	28,5	15,1
ED	6,5	6,9	11,9	27,0	39,7	20,9	22,4	30,4	28,3	16,3	41,8	26,3
LP	15,0	6,0	18,1	28,1	23,0	15,3	22,2	46,3	33,8	20,7	22,8	20,4
LB	12,5	9,7	39,3	26,3	25,5	12,5	23,7	29,4	35,5	31,9	19,9	16,7
LM	1,5	17,3	33,2	38,3	33,3	14,9	31,3	18,2	21,0	25,0	12,9	18,8
RV	7,1	22,0	39,7	11,2	23,5	12,7	20,6	24,0	23,7	13,3	9,6	13,3
Desvio	7,3	6,9	11,4	10,9	15,1	3,3	4,1	10,6	7,6	8,1	11,6	4,6

En cuanto a las recargas totales, el comportamiento no es el mismo en todas las perforaciones. En varias de ellas las mayores recargas se dan en otoño (marzo-abril-mayo), que es una época lluviosa. El segundo período de recargas importantes se da en la primavera. En invierno las recargas son relativamente pequeñas, lo cual condice con la menor cuantía de las precipitaciones. Finalmente, en verano las recargas mensuales no son tan importantes como en otoño y primavera, aunque es un período con lluvias importantes, pero sin duda la intensa evapotranspiración seca el perfil y hace que la mayoría del agua infiltrada se ocupe en humedecer el terreno y sólo una pequeña fracción llegue al nivel freático a recargar el acuífero.

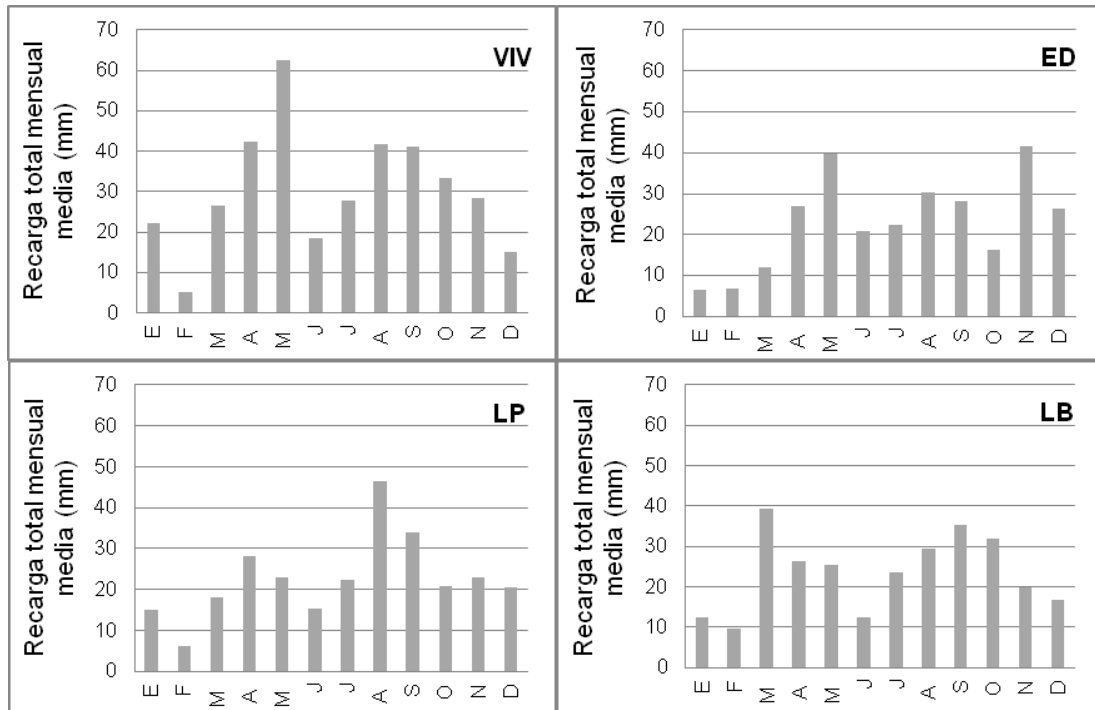


Figura 4. Recarga total media mensual para el período 2007-2014.

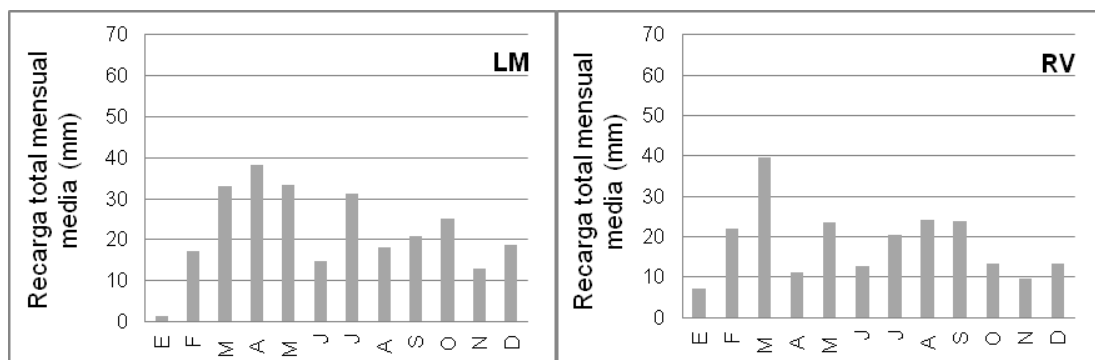


Figura 4 (cont.). Recarga total media mensual para el período 2007-2014.

En la Fig. 5 puede verse la variación mensual media del almacenamiento en los distintos pozos, que se obtiene como diferencia entre los niveles al fin y principio de cada mes, por el almacenamiento específico. Esta variación está dada por:

$$Var. Alm. = Rec. Total - (Desc. Lat. + EVT + EV) + Ing. Lat.$$

donde EVT: evapotranspiración producida por extracción de agua por raíces de plantas desde el nivel freático o desde la franja capilar alimentada por el nivel freático, EV: evaporación directa desde el nivel freático o desde la franja capilar alimentada desde el nivel freático, y Desc. Lat. e Ing. Lat. la descarga o ingreso lateral por flujo de agua subterránea al entorno del pozo.

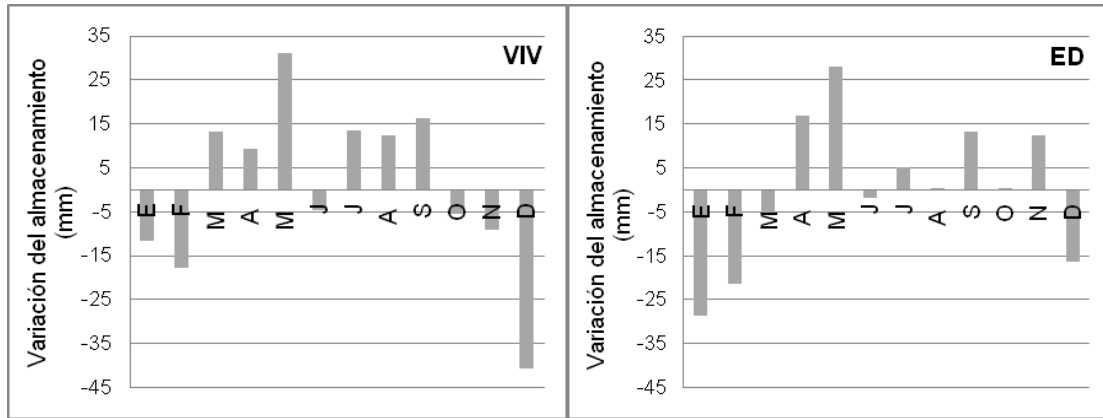


Figura 5. Variación del almacenamiento medio mensual para el período 2007-2014, supuesto nulo el escurrimiento superficial.

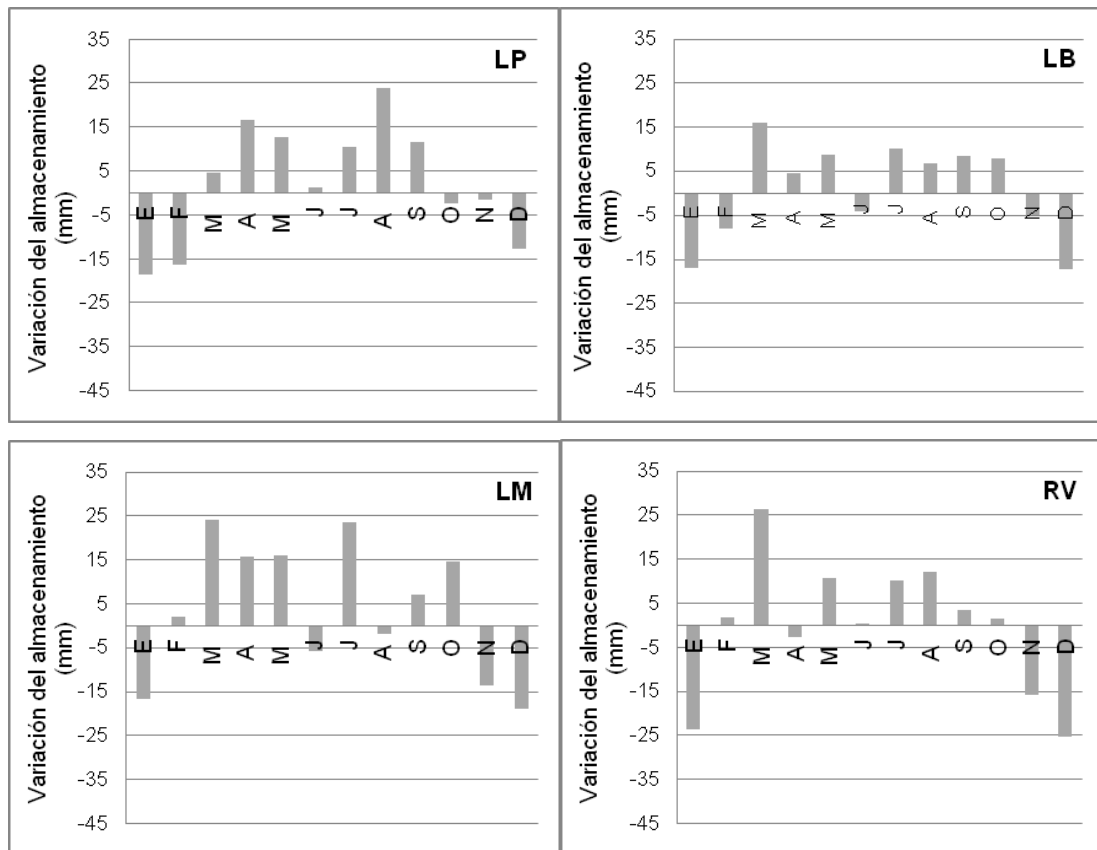


Figura 5 (cont.). Variación del almacenamiento medio mensual para el período 2007-2014, supuesto nulo el escurrimiento superficial.

En la Fig. 5 se advierte claramente que en los meses de verano las descargas superan a los ingresos de agua al entorno de la perforación: si se piensa que la descarga lateral debe ser igual o muy similar al ingreso lateral si no se está en una zona de descarga o de recarga, debe admitirse que las salidas están dadas por EV y/o EVT, lo cual concuerda con las variaciones de almacenamiento negativas en los meses cálidos. Por otra parte, puede verse que los meses con variación de almacenamiento positiva se dan en otoño y primavera, principalmente.

*Relación aguas subterráneas-aguas superficiales*

Se ajustaron ecuaciones cuadráticas que relacionan el caudal básico (Qb) con el nivel freático, ambos medios mensuales. En la Fig.6 se muestra como ejemplo el ajuste obtenido para el nivel freático en la estación LP. En todos los casos los caudales básicos se midieron en la estación limnigráfica Seminario, ubicada aguas arriba de la ciudad de Azul. Los ajustes obtenidos son muy buenos, como puede apreciarse en la Tabla 2, en la que se muestran los resultados para todas las perforaciones analizadas.

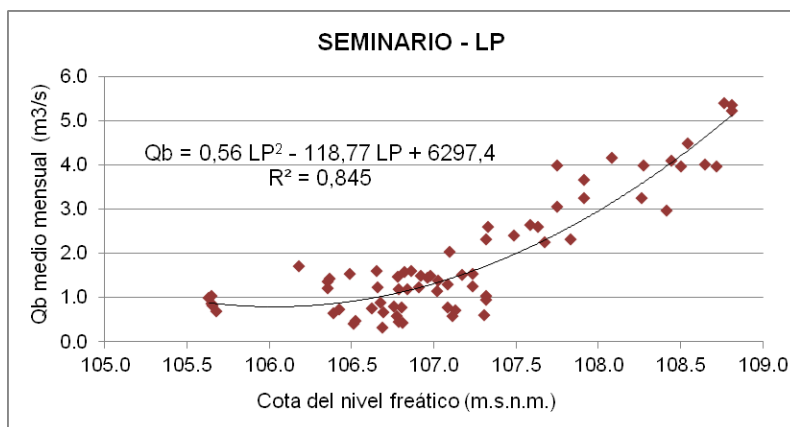


Figura 6. Ajuste obtenido en la estación LP.

Tabla 2. Ajustes obtenidos en los seis sitios analizados.

Estación	R <sup>2</sup>
VIV	0,578
LM	0,737
RV	0,760
ED	0,700
LP	0,845
LB	0,767

Puede verse como el  $Q_b$  aumenta cuando los niveles freáticos se elevan, pero no de manera lineal, sino que el aumento del  $Q_b$  se acentúa cuando los niveles están más someros. Cuando los niveles están más profundos el  $Q_b$  prácticamente no depende de ellos, mientras que a partir de los 2,5 m de profundidad (107,5 msnm) el  $Q_b$  comienza a crecer de manera importante en función del nivel freático (a un valor medio de  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  por cada 50 cm de ascenso de los niveles).

## CONCLUSIONES

Las fluctuaciones del nivel freático y la recarga al acuífero a lo largo del año difieren considerablemente entre un sitio y otro.

El método de fluctuación del nivel freático se ha mostrado efectivo al momento de estimar la cantidad de agua que llega al acuífero. Tras siete años de análisis, se determinaron valores de almacenamiento específico que varían entre 0,09 y 0,12. Sin embargo, se considera oportuno el poder continuar con la aplicación de esta metodología a medida que el volumen de datos disponibles aumenta, logrando así un ajuste aún mayor.

La variación temporal en la recarga exhibe una distribución de tipo bimodal y evidencia picos máximos en primavera y en otoño. Durante el invierno las precipitaciones son escasas, lo cual se traduce en recargas al acuífero relativamente pequeñas. La época estival tampoco representa ingresos significativos de agua al acuífero freático, pero esta condición no se debe a la ausencia de precipitaciones (por el contrario, suele haberlas de notable intensidad), sino más bien a las elevadas pérdidas por evapotranspiración. Este escape de agua hacia la atmósfera es mayor en la cuenca baja, en donde los niveles freáticos se hallan más cercanos a la superficie. De esta manera se ven facilitados los fenómenos de ascenso por capilaridad y la evaporación directa desde el perfil, así como también desde cuerpos de agua temporarios, que se suman a la acción de la vegetación (fundamentalmente pastizales naturales).

En términos espaciales es posible reconocer hacia el sur del área de estudio un sitio (VIV) en donde las recargas al acuífero freático suelen ser más significativas. Este sector responde a las características propias de la cuenca alta, asociándose a la presencia de un medio poroso de buena permeabilidad y pendientes medias. Además, el basamento cristalino a escasa profundidad determina que la mayor parte del flujo subterráneo de agua pase a alimentar rápidamente los cursos de agua cercanos,

conformando pequeños sistemas locales de corto alcance. Por el contrario, en la zona de llanura (sector norte de la cuenca) el flujo subterráneo de agua está dominado por el sistema regional. En esta zona llegan a alcanzarse las recargas menores en el extremo norte de la zona estudiada.

Se ajustaron ecuaciones cuadráticas que explican muy bien la relación entre el caudal básico medio mensual en el arroyo del Azul y los niveles freáticos medios mensuales.

Se espera que la información expresada y particularidades como las planteadas puedan ser tenidas en cuenta al momento de evaluar los recursos hídricos de la región, ya que conocer el funcionamiento del sistema natural representa un aspecto fundamental si lo que se desea es realizar un manejo adecuado del mismo.

## BIBLIOGRAFÍA

Crosbie, R. S., Binning, P., & Kalma, J. D. (2005). A time series approach to inferring groundwater recharge using the water table fluctuation method. *Water Resources Research*, 41(1), 1-9.

Healy, R. W., & Cook, P. G. (2002). Using groundwater levels to estimate recharge. *Hydrogeology journal*, 10(1), 91-109.

Healy, R. W. (2010). *Estimating groundwater recharge*. Cambridge University Press.

Risser, D. W., Gburek, W. J., & Folmar, G. J. (2005). *Comparison of methods for estimating ground-water recharge and base flow at a small watershed underlain by fractured bedrock in the eastern United States*. US Department of the Interior, US Geological Survey, 2005-5038.

Rodríguez, L., Vionnet, C., Parkin, G., & Younger, P. (2000). Aplicación de un método automático para la separación de las componentes del hidrograma. En *Actas XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Córdoba, Argentina* (Vol. 2, pp. 279-286).

Thorntwaite, C. W., & Mather, J. R. (1957). *The water balance*. Laboratory of Climatology.

Varni, M. R. (2013). Aplicación de varias metodologías para estimar la recarga al acuífero pampeano, Argentina. *Tecnología y ciencias del agua*, 4(3), 67-85.

Varni, M., Zeme, S., Weinzettel, P., & Dietrich, S. (2014). Relación entre recarga al acuífero freático y otros términos del balance hídrico en Azul, centro de la Provincia de

---

Buenos Aires. En *Memorias del II Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras*.  
Santa Fe: Universidad Nacional del Litoral.