

Caudal básico y su influencia en el balance hidrológico en un área de llanura

Alfonso Rodríguez Vagaría¹, Marta Deluchi^{2,3}, Eduardo Kruse^{2,4}, Fernanda Gaspari¹

¹ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. Diagonal 113 n° 669, La Plata, Argentina

² Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata 64 n°3, La Plata, Argentina.

³ Comisión de Investigaciones Científicas (Provincia de Buenos Aires). La Plata, Argentina.

⁴ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina

Mail de contacto: mdeluchi@hotmail.com

RESUMEN

En las llanuras con clima húmedo la descarga del escurrimiento subterráneo local da lugar a un caudal básico que mantiene activa a la red de drenaje. Con la finalidad de evaluar las variaciones en el caudal básico y su asociación con la recarga del agua freática se analizaron los caudales diarios del Ao. Del Medio (Provincias de Buenos Aires y Santa Fe). Se evalúan los aspectos regionales de la cuenca y de la capa freática, efectuándose un análisis de datos fluviométricos en las proximidades de su desembocadura. La permeabilidad de los sedimentos aflorantes, las características de desarrollo de la red de drenaje, las condiciones climáticas y las bajas pendientes topográficas regionales, permiten destacar la importancia de la evapotranspiración e infiltración. Los resultados demuestran que la fuerte interrelación entre el agua fluvial y el agua freática hace necesario considerar al sistema como una unidad, con las lógicas diferencias que plantea el flujo de agua en ambas situaciones. Se concluye que el caudal básico es un indicador de una condición de recarga y almacenamiento subterráneo en la cuenca y un factor a tener en cuenta en la respuesta de distintos eventos fluviales, incluso en aquellos extremos.

Palabras clave: interrelación agua superficial / agua subterránea, recarga, Arroyo del Medio.

ABSTRACT

In the wet plains, the discharge of local groundwater flow causes a baseflow that maintains active the watercourses. With the aim of evaluate variations in the baseflow and its association with groundwater recharge the daily flow data of Ao del Medio (Buenos Aires and Santa Fe provinces) were analyzed. Moreover, hydrologic regional and water table characteristics are assessed. The sediment permeability, the drainage network development, the climatic conditions and the slight topographic slopes allow highlighting the importance of evapotranspiration and infiltration. The results show a strong interrelationship between surface water and groundwater, so it is necessary to consider this system as a unit, with the logical differences between the water flows in both situations. It is concluded that the baseflow is an indicator of recharge and storage groundwater in the basin and a factor to consider in the response of different fluvial events, including extreme events.

Keywords: Surface water / groundwater interactions, recharge, Arroyo del Medio

1 INTRODUCCIÓN

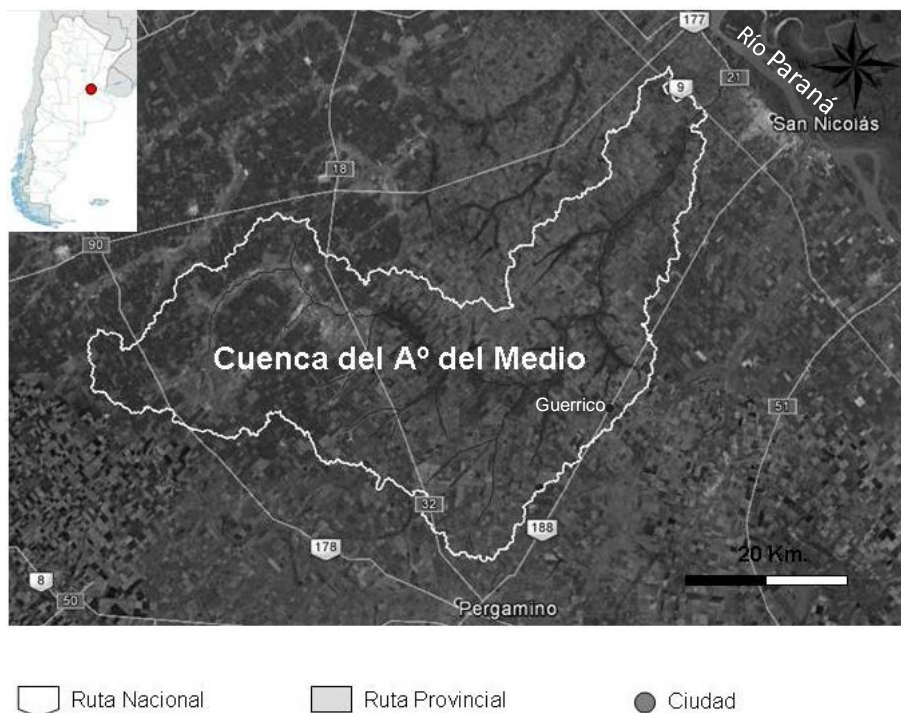
En una llanura de clima húmedo es frecuente que exista una fuerte interacción entre aguas superficiales y aguas subterráneas (Usunoff, 2002). En estas condiciones la descarga del escurrimiento subterráneo local da lugar a un caudal básico que mantiene activa a la red de drenaje (Kruse y Ainchil, 2011). Su estimación representa un paso fundamental en la evaluación del comportamiento hidrológico y una base para cualquier manejo de los recursos hídricos.

La cuantificación de las componentes del balance de agua requiere una red de medición de información hidrológica confiable en su calidad y con un razonable período de registros, lo cual no es frecuente en algunos sectores de la llanura Pampeana. Ante esta situación y frente a la necesidad de efectuar una evaluación hidrológica, la estimación de la componente relacionada con el caudal básico representa una posibilidad de avanzar en el conocimiento hidrológico de una región.

La finalidad de este trabajo es evaluar las variaciones en el caudal básico y su comportamiento hidrológico regional en la cuenca del Ao. del Medio (Provincias de Buenos Aires y Santa Fe).

2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del Arroyo del Medio (Fig. 1) se desarrolla en la llanura Pampeana, específicamente en lo que se conoce como Pampa Ondulada (Daus, 1946). Posee una superficie de aproximadamente 1.800 km², situándose en el extremo Norte de la provincia de Buenos Aires y en el Sur de la provincia de Santa Fe. El curso principal, afluente del Río Paraná, constituye el límite natural entre ambas provincias.



□ Ruta Nacional □ Ruta Provincial ● Ciudad

Figura 1 – Ubicación del área de estudio

Desde un punto de vista morfológico, es posible reconocer 3 sectores, el superior, el medio y el inferior. El sector superior se caracteriza por una morfología plana con pendientes de de 0,8 m/km y la presencia de canales artificiales de drenaje. El sector medio, con un rumbo ONO-ESE, presenta pendientes que oscilan entre 3,3 y 1,0 m/km. El sector inferior se extiende desde la desembocadura, en el Río Paraná hasta la localidad de Guerrico, está caracterizada por presentar rumbo general SO-NE y pendientes inferiores a 1,0 m/km.

Un clima húmedo caracteriza a la región, siendo la precipitación media del orden de 1000

mm/año. Los datos de Pergamino y Rosario, que son las estaciones climatológicas próximas a la cuenca con mayor información indican una precipitación media para el período 1994 – 2009 de 928 mm/año y 1050 mm/año respectivamente. De esta forma se puede establecer que un promedio anual algo mayor caracteriza el sector noreste de la cuenca. En ambos casos el trimestre enero, febrero y marzo es el más lluvioso mientras que junio, julio y agosto el más seco. La temperatura media anual es de 16,6°C en Pergamino y 17,2°C en Rosario.

El conocimiento actual del sistema de aguas subterráneas responde al esquema clásico propuesto para el noreste bonaerense (González, 2005), adquiriendo mayor relevancia para este análisis los términos superiores de la secuencia sedimentaria del subsuelo que incluyen a las Arenas Puelches, Sedimentos Pampeanos y Sedimentos Postpampeanos. Las características hidrogeológicas reconocidas permiten establecer la existencia de un único sistema hídrico subterráneo siendo posible considerar que el agua en las unidades mencionadas presentan una continuidad hidráulica, a pesar que existen diferencias verticales de permeabilidad. Las Arenas Puelches yacen entre -35 y -45 m.s.n.m., muestran un aumento de potencia hacia el Río Paraná que va desde 11 a 45 m, con algunas variaciones locales (EASNE, 1972). Poseen un carácter semiconfinado, y están compuestas por arenas cuarzosas. Por encima se ubica otro nivel acuífero que representa a los sedimentos Pampeanos. Su espesor oscila entre 35 y 45 m y contiene al acuífero freático encontrándose directamente relacionado con el ciclo hidrológico actual.

3 METODOLOGÍA

El análisis de los aspectos regionales del medio físico constituyó la etapa inicial de este estudio. Se reconocieron los rasgos más significativos de la cuenca de drenaje (geología, geomorfología, hidrogeología) y su implicancia hidrológica sobre la base de antecedentes bibliográficos, mapas topográficos, fotografías aéreas y reconocimientos de campo.

Se ha sistematizado e interpretado los datos fluviométricos diarios provistos por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, correspondientes a la estación La Emilia. Esta estación resulta importante para reconocer el comportamiento general de la cuenca ya que se encuentra ubicada en las proximidades de su desembocadura.

Si bien se han utilizado distintas técnicas para la separación del caudal básico y el caudal directo en los hidrogramas, la de mejor aplicación y facilidad de implementación corresponde a la propuesta por Rodríguez et al. (2000) mediante el uso de filtros digitales recursivos. Este procedimiento ha sido empleado por varios autores, entre otros Ferreira et al. 2009, Varni et al, 2010, Comas, 2013, con resultados confiables para distintas cuencas de la llanura pampeana. A partir del cómputo diario de los valores de caudal básico y caudal total se estimaron los escurrimientos mensuales y anuales correspondientes.

El método de los filtros digitales recursivos considera la siguiente fórmula:

$$f_k = \varepsilon f_{k-1} + \frac{(1 + \varepsilon)}{2} (y_k - y_{k-1}) \quad k = 1, \dots, N \quad (1)$$

Donde N se define como el número total de observaciones; f_k corresponde al valor filtrado de la escorrentía directa en el paso de tiempo (generalmente un día); y_k es el caudal total registrado, ε es el parámetro del filtro y k es el índice del paso de tiempo.

Los valores frecuentes que adopta el parámetro de filtro varían entre 0,90 y 0,95 y tiene incidencia sobre el grado de atenuación de los valores filtrados, mientras que las pasadas del filtro definen el suavizado de la señal.

La determinación del flujo base q_k , surge de la siguiente expresión:

$$q_k = y_k - f_k \quad (2)$$

Se dispuso de datos diarios correspondientes al período enero de 1994 hasta diciembre de 2008. El parámetro ε adoptó el valor fijo de 0,925, y se efectuaron tres pasadas de filtro.

4 RESULTADOS

La interpretación de la serie de caudales diarios permitió evaluar el caudal básico, originado en la descarga local del agua subterránea. Estos datos verifican la información obtenida a partir de los mapas isofreáticos y por mediciones de campo recientes. Se han reconocido evidencias directas de la descarga de agua subterránea en el curso, dadas por las distintas vertientes que se observan en algunas barrancas del arroyo. El Ao del Medio presenta un carácter manifiestamente efluente, localizándose las zonas de recarga principal en los interfluvios.

Si se considera el período 1994 – 2008, el escurrimiento fluvial para la cuenca en las proximidades de la desembocadura alcanza un valor anual medio 116 mm/año, de los cuales el caudal básico significa 37 mm/año. Estos valores constituyen un 12% y 4% respectivamente de la precipitación media anual en la cuenca considerando los registros de Rosario y Pergamino para el mismo período.

En el gráfico de la Fig. 2 se ha representado la variación anual de la precipitación, el caudal total y el caudal básico, donde también se indican con una línea entrecortada los valores medios de cada uno de ellos. En la Tabla 1 se detallan los valores anuales correspondientes.

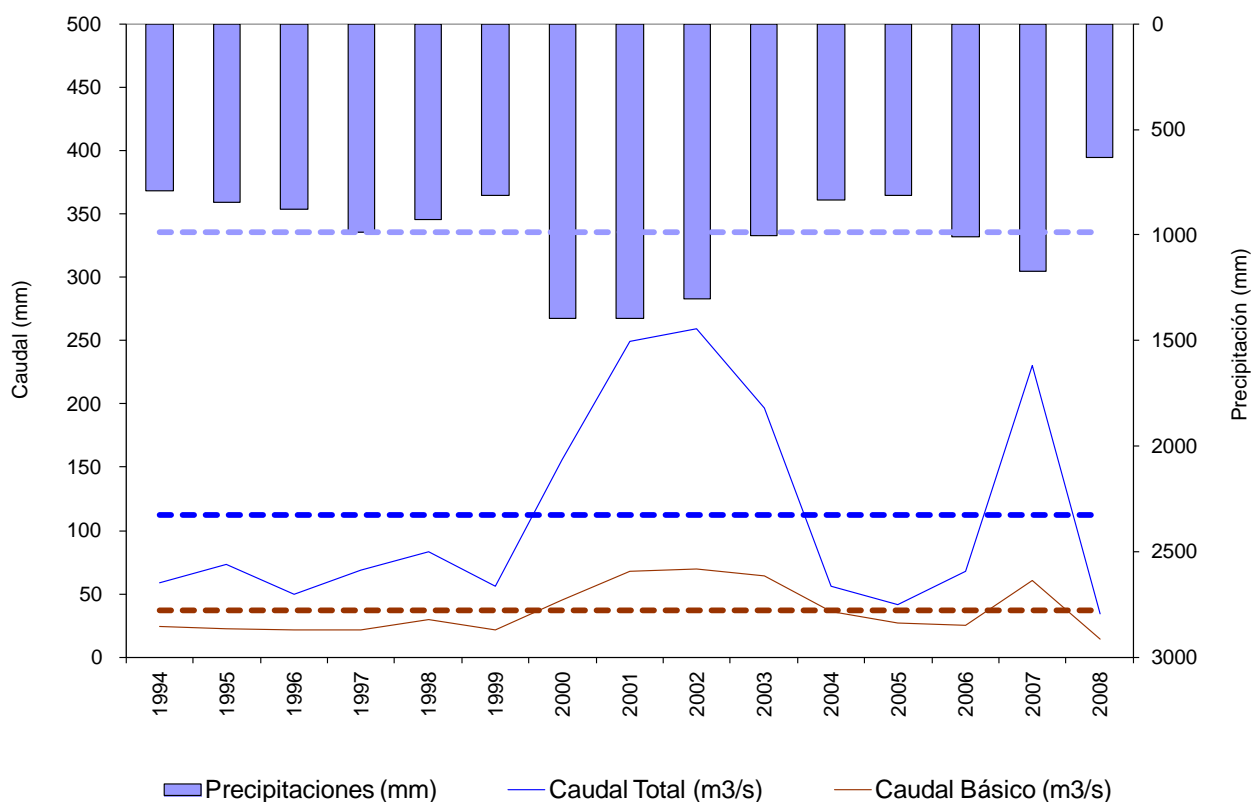


Figura 2 – Variación anual del escurrimiento total, escurrimiento básico y precipitaciones

Los mayores valores de escurrimiento fluvial y coincidentemente de caudal básico se registran en 2001 y 2002, los cuales significan un 20% y un 6% de la precipitación. Existe un incremento marcado del escurrimiento fluvial en los años en que la precipitación anual supera a la media y se mantiene durante varios años, como ocurrió entre 2000 y 2003.

Las precipitaciones en el lapso 1994 – 1999 fueron inferiores a los valores medios, el escurrimiento fluvial oscila entre 56 y 83 mm/año, entre 21 y 29 mm/año correspondieron a caudal básico. En el período 2000 – 2003 las precipitaciones superaron los valores medios aumentando el escurrimiento fluvial entre 156 y 160 mm/año, de los cuales entre 45 y 70 mm/año corresponden al caudal básico.

Tabla 1 - Valores anuales de precipitación, caudal total y caudal básico

Año	Precipitaciones (mm)	Caudal Total (m³/s)	Caudal Básico (m³/s)
1994	789,0	58,90	24,55
1995	842,6	73,59	22,31
1996	879,1	49,68	21,50
1997	987,5	68,98	21,14
1998	928,0	83,41	29,54
1999	814,6	55,96	21,13
2000	1395,4	155,75	45,15
2001	1396,8	249,67	68,08
2002	1299,8	259,21	69,42
2003	1005,3	196,74	64,12
2004	833,0	56,07	36,22
2005	812,3	41,47	27,21
2006	1007,5	67,47	25,53
2007	1173,2	230,28	60,21
2008	634,8	34,23	14,63

En la Fig. 3 se ha representado la variación mensual del escurrimiento total y el básico comparado con las precipitaciones.

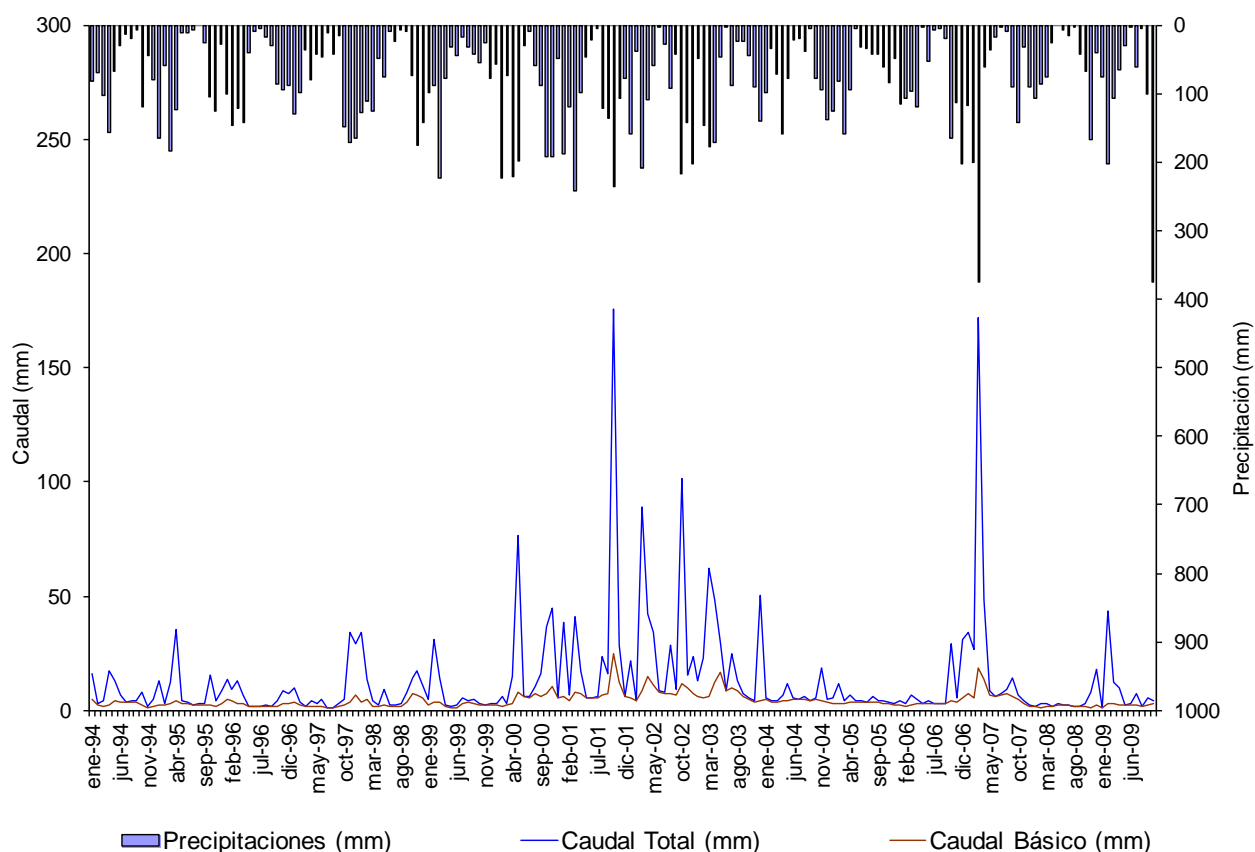


Figura 3 – Variaciones mensuales de escurrimiento total, escurrimiento básico y precipitaciones

El máximo valor de precipitación mensual registrado en marzo de 2007 (375 mm) significó un escurrimiento total de 172 mm (46% de la precipitación) y un básico de 19 mm (5%).

Las condiciones climáticas regionales permiten reconocer variaciones de la disponibilidad hídrica, existiendo una alternancia de períodos con precipitaciones por encima y por debajo de los valores medios.

Las variables fundamentales intervinientes en el balance hidrológico son los ingresos de agua (precipitación), los egresos (escurrimiento fluvial, escurrimiento subterráneo, evapotranspiración) y los almacenamientos superficial y subterráneo. La intensidad de la respuesta no depende exclusivamente de la diferencia entre las variables de entrada y salida, sino que un factor fundamental a tener en cuenta es el estado de humedad preexistente en la cuenca, el cual globalmente está representado por la capacidad de almacenamiento.

En una situación de precipitaciones superiores a la media se incrementan en distintos órdenes de magnitud los almacenamientos subterráneo (variación de niveles freáticos) y superficial (cuerpos de agua); los escurrimientos fluviales y los escurrimientos subterráneos. Mientras que en períodos secos se genera una disminución del almacenamiento superficial y subterráneo y los escurrimientos fluviales tienden a valores muy bajos. Las variaciones en el caudal básico se manifiestan en las respuestas observadas en los hidrogramas diarios de dichos períodos.

El aumento en el caudal básico es una respuesta en la variación de la capacidad de almacenamiento subterráneo, dado por el ascenso de los niveles freáticos en el período más húmedo, lo cual se debe asociar a un incremento en la recarga del agua freática. Por el contrario una disminución del caudal básico es la respuesta a un proceso de agotamiento de la capa freática producto de una menor recarga del sistema subterráneo.

5 CONCLUSIONES

En la cuenca del Ao del Medio, en el período 1994 – 2009, un 32% del escurrimiento fluvial (116 mm/año) corresponde al caudal básico (37 mm/año). La descarga del escurrimiento subterráneo local en el curso da lugar a dicho caudal que mantiene activa a la red de drenaje.

La permeabilidad de los sedimentos aflorantes, escaso desarrollo de la red de drenaje, clima húmedo, relieve con bajas pendientes topográficas regionales, permiten estimar que el valor mínimo de recarga del sistema subterráneo se relaciona en términos generales con los valores de descarga que se manifiesta como caudal básico.

La variación anual y mensual en el escurrimiento fluvial refleja también la variabilidad del fenómeno de recarga que se asocia con las variaciones en las precipitaciones.

La interacción planteada lleva a la necesidad de considerar a un sistema único (aguas superficiales – aguas subterráneas), con las lógicas diferencias que plantea el flujo de agua en ambas situaciones. El aumento en el caudal básico es un reflejo de un ascenso de los niveles freáticos en el período más húmedo, mientras que la disminución es la respuesta a una profundización de la capa freática.

La variación del caudal básico no sólo es un indicador de un factor a tener en cuenta en la respuesta de distintos eventos fluviales sino que refleja las condiciones de recarga al acuífero freático.

REFERENCIAS

- Comas, R. 2013. Estudio de recarga y descarga local en el acuífero freático Pampeano en el centro de la provincia de Buenos Aires. Tesis Maestría en Recursos Hídricos-UNLPam. Santa Rosa (La Pampa)
- Daus, F. 1946. Morfología general de las llanuras argentinas. Geografía de la República Argentina. T III, pp 115-198.
- EASNE, Estudio de Aguas Subterráneas Nor-Este. 1972. Contribución al estudio geohidrológico del noreste de la provincia de Buenos Aires. Consejo Federal de Inversiones. Vol I y II. La Plata.
- Ferreira, G., Rodriguez, L. Vionnet, C., Choque, J. y Marano Paulo. 2009. Avances en el conocimiento del acuífero libre de la cuenca del Arroyo Cululú. Provincia de Santa Fe, Argentina. Actas VI Congreso

- Argentino de Hidrogeología. Tomo I. 147-158.
- González, N. 2005. Los ambientes hidrogeológicos de la Provincia de Buenos Aires. En: R. de Barrio, R, Etcheverry, M, Caballé and E, Llambías (eds): Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires, Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino. La Plata, Asociación Geológica Argentina, 2005, pp. 359 – 374.
- Kruse, E. y J. Ainchil. 2011. El agua en la llanura bonaerense. Revista de la Universidad Nacional de La Plata. 36: 109-122
- Rodríguez, LB., Vionnet, CA., Parkin, G. y Younger, P. 2000. Aplicación de un método automático para la separación de las componentes del hidrograma. XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Córdoba, Argentina. ISBN 987-20378-1-7. Tomo II, 279-286.
- Usunoff, E. 2002. Framework for assessing hydrogeology of large plains. En: Groundwater and human development. Bocanegra, E - Martínez, D - Massone, H (Eds.). p. 2039 - 2042. Mar del Plata.
- Varni, M., Comas, R., Weinzettel, P. y Dietrich, S. 2010. Análisis de 18 años de registros diarios de nivel freático en la zona central de la cuenca del arroyo del Azul, Buenos Aires, Argentina. En: Varni, Entraigas y Vives (Eds.). Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en zonas de llanura. Tomo I. 209-215.