

Estimación de la recarga al acuífero del Azul: 1. Análisis de las características climáticas

Marcelo Varni¹ y Emilio Custodio²

¹ Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo J. Usunoff" (UNCPBA – CIC – Municipalidad de Azul), República de Italia 780, (B7300) Azul, Buenos Aires, Argentina.

² Dept. Ingeniería del Terreno / Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea (FCIHS), Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), Barcelona, España.

Mail de contacto: marcelovarni@gmail.com

RESUMEN

En la cuenca del Arroyo de Azul, en la Provincia de Buenos Aires, se están realizando estudios para caracterizar la recarga al acuífero freático. Se trata de comparar los resultados del balance hídrico en el suelo con el balance de la deposición de cloruro atmosférico. En esta primera parte se analiza la homogeneidad de la precipitación para valorar los resultados de la calibración del balance en el suelo en varios lugares con las fluctuaciones freáticas en puntos distintos en los que se mide la precipitación diaria. Se trata de una cuenca abierta de escaso relieve, pero a pesar de ello se producen lluvias de carácter e intensidad que no tienen el mismo reflejo en todos los puntos considerados. Eso hace que al realizar la comparación entre recarga calculada y evolución de niveles freáticos medidos en otras localidades se presenten desviaciones, que se pueden explicar. Aquí se consideran esas heterogeneidades en la lluvia y las variaciones espaciales en la evapotranspiración.

Palabras clave: recarga de acuíferos, características climáticas, precipitación, evapotranspiración.

ABSTRACT

In the Azul River basin, located in Buenos Aires Province, studies to characterize groundwater recharge are in progress. Soil water budget results and the atmospheric chloride deposition budgets are compared. In this first part the homogeneity of the precipitation is analyzed to evaluate the results of the soil water budget calibration in several places with the water table fluctuations at points different from those in which the daily precipitation is measured. The study area is an open basin with low relief but, despite this, rainfalls of amount and intensity that have not the same value in all the considered points occur. As a result, when calculated recharge and groundwater levels evolution are compared, deviations occur, which can be explained. Here rain heterogeneities and the spatial variations in reference evapotranspiration are considered.

Keywords: groundwater recharge, climatic characteristics, precipitation, evapotranspiration.

Introducción

La recarga a los acuíferos es una de las magnitudes hidrológicas más difíciles de definir y cuantificar y siempre tiene asociada una importante incertidumbre, en especial a escala de cuenca. Esta incertidumbre debe ser evaluada y asumida en la planificación y gestión integrada de los recursos de agua y actuar consecuentemente en cuanto a flexibilidad y acotación de las acciones y regulaciones. Los resultados varían con la escala espacial y temporal, lo que debe ser tenido en cuenta adecuadamente. Para reducir y acotar la incertidumbre las estimaciones deben realizarse aplicando el mayor número de métodos posible, mejor cuanto más independientes sean entre sí. En los trabajos en curso dentro del proyecto REDESAC (CGL2009-12910), llevados a cabo

conjuntamente por el Instituto de Hidrología de Llanuras de Azul (IHLLA), la Universidad Politécnica de Cartagena y la Universidad Politécnica de Cataluña, se compara el balance en el suelo calibrado con fluctuaciones freáticas con el balance de la deposición de cloruro atmosférico. La metodología aplicada es la clásica, como se expone en Alcalá y Custodio (2012) y en Custodio (2010) y en las referencias contenidas en estos trabajos.

El área de estudio se ubica en la Pampa Húmeda argentina, a una altitud entre 240 y 70 m snm. Se trata de una zona de gran importancia desde el punto de vista económico debido a las características de su clima y sus suelos, con una excelente aptitud para el desarrollo de actividades agrícolas y ganaderas. La actividad agrícola se basa en los cultivos de trigo, maíz, soja, cebada, centeno, lino y girasol,

así como la papa. También se desarrollan en la región actividades pecuarias de cría de ganado (bovino y ovino), así como la lechería.

El área concreta es la cuenca del arroyo de Azul (Figura 1). Este nace en cercanías de la localidad de Chillar y desarrolla su curso hacia el norte, hasta perderse en la llanura antes de alcanzar el río Salado. El curso bajo, a unos 80 km al norte de la ciudad de Azul, es interceptado y drenado parcialmente por un canal artificial, el cual se adopta en este trabajo como límite norte (final) del área de estudio. La cuenca está integrada por una gran planicie y un área más pequeña de suaves serranías, y ambas están conectadas a través del piedemonte. Estos tres sectores podrían considerarse como subcuencas: alta (serranías), intermedia (piedemonte) y baja (llanura). La pendiente media del terreno es del 5% en la zona alta, entre 0,5 y 0,8% en la intermedia y 0,2% en la baja. El comportamiento global de la región es el de una llanura (Sala et al., 1987).

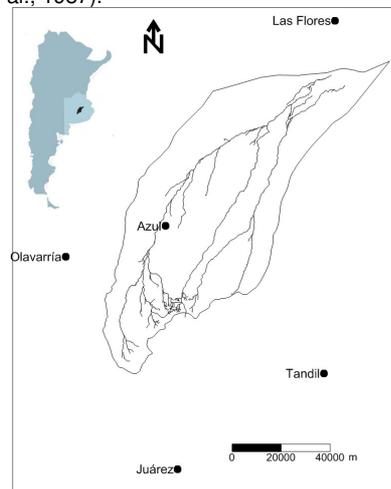


Figura 1. Situación general del área de estudio.

En las serranías ubicadas al sur existen afloramientos rocosos compuestos por rocas metamórficas, tonalitas, migmatitas y cuarcitas (González Bonorino et al., 1956). Dichas rocas se profundizan hacia el norte, constituyendo la base del sistema hidrológico, y alcanzan una profundidad cercana a los 800 m al noreste del área de estudio. En la ciudad de Azul (altitud de 140 m snm) dicho basamento se ha detectado a unos 120 m de profundidad. Encima del basamento cristalino yacen sedimentos de tipo loésico (con una componente eólica importante) que contienen el acuífero freático

Pampeano (Sala et al., 1983), que está constituido por arenas limosas y limos arcillosos con mayor o menor presencia de arcillas. Estos sedimentos muestran cierta heterogeneidad vertical y poca continuidad espacial. La Formación Post-Pampeano (Fidalgo et al., 1975) se ubica por encima del Pampeano, y a efectos prácticos se pueden reunir en una sola unidad hidrogeológica.

En las cuencas alta e intermedia la conductividad eléctrica de las aguas subterráneas presenta valores menores a 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$, aunque pueden observarse leves incrementos en algunos sectores aledaños a los cursos de agua, donde se produce la descarga parcial de aguas subterráneas más profundas, de mayor recorrido y tiempo de renovación. En la cuenca baja existe un aumento gradual hasta valores de 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Desde el punto de vista químico las aguas son preponderantemente bicarbonatadas, con predominio cálcico en cabeceras, pasando a dominar las sódicas al norte, al final de la cuenca.

La estación con registros climáticos más prolongados en la cuenca es la estación Azul Aero, perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional. En ella la precipitación (P) media anual es de 907,5 mm (1901-2011) y la temperatura media anual es 14,4°C (1966-2011). De acuerdo con la clasificación de Thornthwaite, el clima de la región es subhúmedo-húmedo, mesotermal, con pequeño a nulo déficit de agua.

Para estimar la recarga al acuífero freático en varios puntos de la cuenca por medio de un balance de agua en el suelo se cuenta con registros freatométricos a lo largo de 4 años, entre el 1/10/2006 y el 30/09/2011. Estos pozos pertenecen a la red de monitoreo del IHLLA en la cuenca.

Precipitación

Las estaciones con información disponible para el período en el que se realiza el balance de agua en el suelo son: Azul Aero (AZUL), Olavarría (OLA), El Palenque (PAL), Trapenses (TRAP), La Baguala (BAG), Patalagoity (PATA) y Las Flores (LF) (Figura 2). Las estaciones AZUL y OLA están operadas por el Servicio Meteorológico Nacional, mientras que las demás corresponden a establecimientos rurales. El registro de Patalagoity tiene una interrupción desde enero de 2011, período que se completó con información de La Baguala, y se refiere aquí como PATA/BAG.

En la Figura 3 se muestran los valores totales de precipitación en cada una de las

estaciones a lo largo de los cinco años de registro. Las estaciones están alineadas de SO a NE, que es el sentido del gradiente de precipitaciones según las isohietas medias, con un aumento de las precipitaciones en la dirección de este gradiente, aunque se observa un déficit en la estación PATA/BAG.

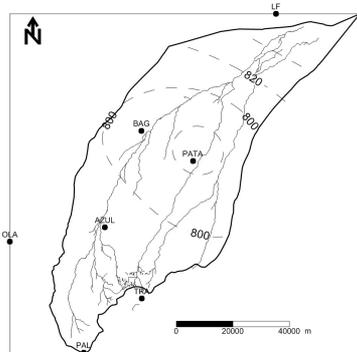


Figura 2. Ubicación de las estaciones de registro de precipitaciones en el área de estudio.

Variabilidad de la precipitación

Se han realizado análisis de comparación de las estaciones que están en una misma zona (cuena alta, intermedia y baja), tomando las estaciones a pares. En principio se esperaría un comportamiento similar y coherente en los registros de cada par de estaciones dada su relativa proximidad.

Un primer análisis es el de la diferencia de las lluvias registradas en cada par de estaciones. Se comenzó realizando este análisis diariamente, pero se verificó que era frecuente que un mismo evento de precipitación se registrase en días diferentes en cada estación. Como resultado de ello se obtiene una diferencia de un cierto signo en un día y una diferencia similar pero de signo contrario al día siguiente. Por esta razón se decidió trabajar con las diferencias entre las lluvias acumuladas de varios días, en este caso de cinco días, aplicadas al día central. Después se acumulan las diferencias a lo largo del periodo de registro para resaltar los cambios. Dado que la pluviometría es similar en las distintas estaciones, la representación no se ha normalizado para representar valores relativos. En las Figuras 4 a 7, para cada par de estaciones se representan las curvas de dobles masas, las desviaciones en grupos de 5 días y las desviaciones acumuladas.

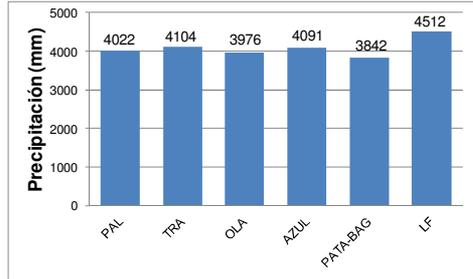


Figura 3. Precipitaciones totales registradas en las estaciones en el período 1 de octubre de 2006 – 30 de setiembre de 2011.

Resultados

Para cada par de estaciones se presenta una figura que contiene un gráfico de 4 pares (figuras 4, 5, 6 y 7). Los resultados sintéticos son:

Cuenca media: par OLA-AZUL

Buena correlación

Sin diferencias cíclicas

Diferencias de hasta ~60 mm en 5 días

4 singularidades mayores: – inicio 2008;

+ inicio 2009; – segundo tercio 2009;

+ inicio 2011

Cuenca alta: par PAL-TRAP

Correlación con escalones

Fluctuación cíclica anual de las diferencias

acumula junio-octubre

desacumula octubre-abril

Diferencias de hasta ~150 mm en 5 días

2 singularidades mayores: – inicio 2008;

– inicio 2011

Cuenca baja: par PATA/BAG-LF

Correlación algo escalonada

Sin claras diferencias cíclicas

Diferencias de hasta ~150 mm en 5 días

3 singularidades mayores: (–) inicio 2008;

+ segundo tercio 2009; – inicio 2008

Cuenca alta-media: par TRAP-AZUL

Buena correlación

Tendencia a la ciclicidad anual de las diferencias:

acumula junio-octubre

desacumula octubre-abril

Diferencias de hasta ~100 mm en 5 días

No hay claras singularidades, pero hay notables diferencias temporales locales breves

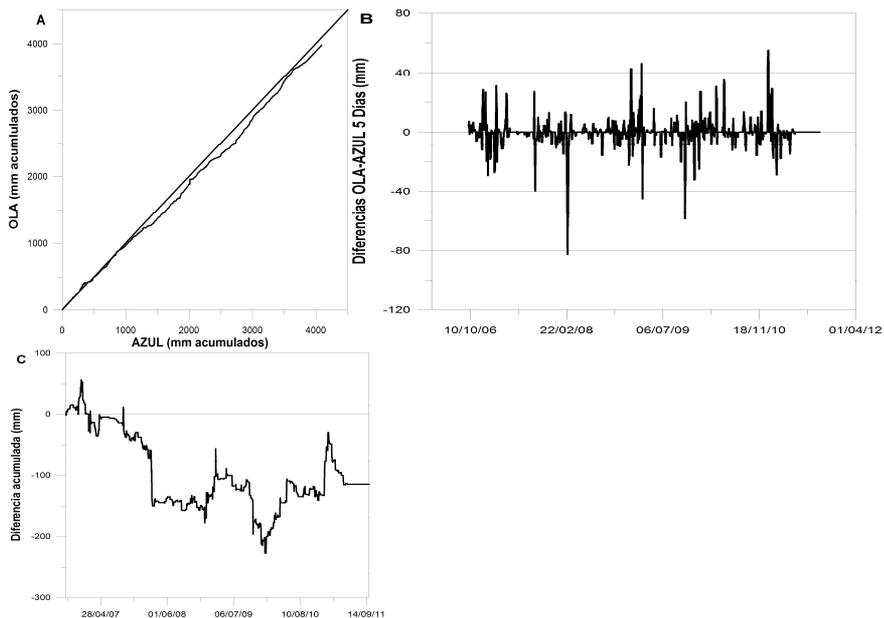


Figura 4.– Análisis de las precipitaciones en las estaciones OLA y AZUL. A.– Gráfico de dobles masas (mm acumulados). B.– Diferencia de precipitaciones (mm) en periodos de 5 días (OLA menos AZUL). C.– Diferencias acumuladas (mm acumulados).

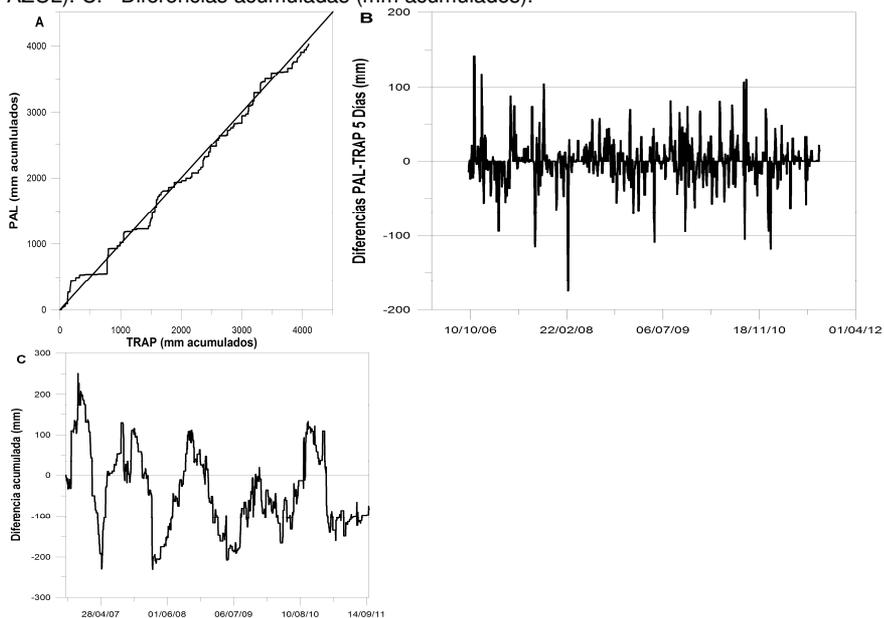


Figura 5.– Análisis de las precipitaciones en las estaciones PAL y TRAP. A.– Gráfico de dobles masas (mm acumulados). B.– Diferencia de precipitaciones (mm) en periodos de 5 días (PAL menos TRAP). C.– Diferencias acumuladas (mm acumulados).

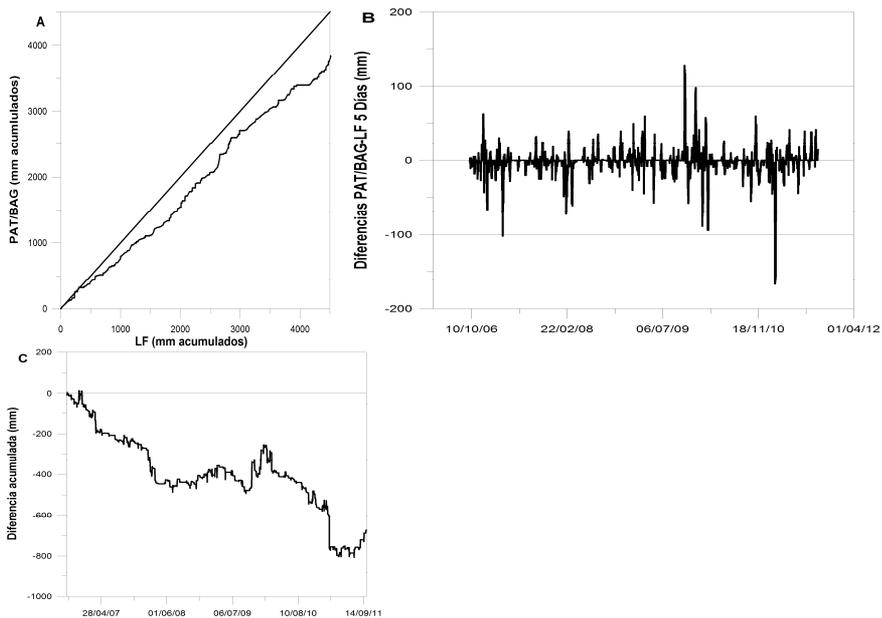


Figura 6.– Análisis de las precipitaciones en las estaciones PATA/BAG y LF. A.– Gráfico de dobles masas (mm acumulados). B.– Diferencia de precipitaciones (mm) en periodos de 5 días (PATA/BAG menos LF). C.– Diferencias acumuladas (mm acumulados).

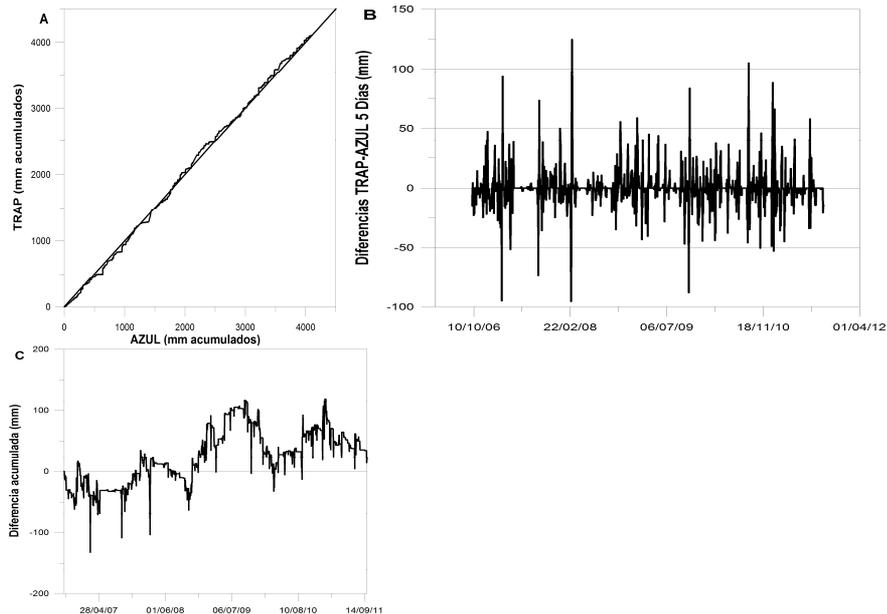


Figura 7.– Análisis de las precipitaciones en las estaciones TRAP y AZUL. A.– Gráfico de dobles masas (mm acumulados). B.– Diferencia de precipitaciones (mm) en periodos de 5 días (TRAP menos AZUL). C.– Diferencias acumuladas (mm acumulados).

Discusión de la variabilidad de la precipitación

Del análisis realizado se deduce:

a) hay una influencia estacional entre la precipitación en la cuenca alta y la intermedia-baja que se traduce en mayor precipitación relativa en el invierno austral en las zonas altas, mayor en PAL que en TRA, y que ya desaparece en AZUL.

b) en el inicio de cada año pueden producirse precipitaciones singulares en la cuenca alta y periferia que no se reflejan claramente en el resto del área, y que se presentan de forma más irregular con respecto a la periferia.

c) se pueden acumular diferencias de hasta 150 mm en pocos días entre dos estaciones cuando una es de la cuenca alta de la periferia, y no tanto si es del área (posible efecto de mayor proximidad). Estas diferencias afectan a la recarga que se puede producir. Son mayores hacia la parte serrana (alta).

Temperatura y datos para la estimación de la evapotranspiración

Rivas y Caselles (2004) han analizado la información meteorológica de cuatro estaciones ubicadas en el área: Azul, Olavarría, Tandil y Benito Juárez (Figura 1). La estación Azul tiene coordenadas geográficas coincidentes con la estación de registro de precipitaciones AZUL y Olavarría con OLA. Las variables analizadas fueron temperaturas diarias máxima y mínima (°C), humedades relativas diarias máxima y mínima (%), velocidad diaria media del viento ($m s^{-1}$), y radiación solar incidente ($MJ m^{-2} día^{-1}$) y, de ellas, obtuvieron los valores medios para cada mes. Ellos utilizan estos parámetros para calcular los coeficientes de una ecuación para estimar la evapotranspiración de referencia. Concluyen que los parámetros son lo suficientemente homogéneos a escala espacial como para utilizar valores uniformes de estos coeficientes en toda la región. Luego Rivas y Caselles (2005) hicieron un análisis análogo al anterior, pero incorporando la estación Las Flores (coincidente geográficamente con LF), llegando a las mismas conclusiones.

Estos dos trabajos, que analizan las variables con incidencia en el cálculo de la evapotranspiración de referencia, muestran claramente que su variación espacial es pequeña y, por lo tanto, también la evapotranspiración potencial varía de forma poco significativa en la región de estudio. Por ello, se considera que no se comete un error

significativo utilizando una evapotranspiración potencial uniforme en todo el área.

Características del período de estudio

La precipitación media anual medida en la estación Azul Aero (1901-2011) es de 907,5 mm. Los balances del agua en el suelo en la parte 2 de este trabajo se realizan en períodos anuales, pero en ciclos que comienzan el 1 de octubre y finalizan el 30 de setiembre, por considerar que es un período válido para ser tomado como año hidrológico. Las precipitaciones medias anuales caídas en los años analizados se muestran en la Tabla 1. El valor medio de dichas precipitaciones es de 818,2 mm, valor que está claramente por debajo (90%) de los 907,5 mm de precipitación media a largo plazo. Solamente en 2 de los 5 años se supera el registro de la precipitación media, mientras que en los restantes la precipitación está por debajo de la media, y en dos casos bastante por debajo. Es de destacar que el período bianual 2007/2009, con precipitaciones muy por debajo de las normales, constituye un período seco de importancia.

En cuanto a las variables que definen la evapotranspiración, no existen estudios específicos realizados en este período, pero al menos la radiación solar, que define en gran medida la evapotranspiración de referencia, se mantuvo dentro de los rangos normales (R. Rivas, comunicación personal).

Tabla 1. Precipitaciones medias anuales (mm) en el lapso analizado en la estación de AZUL AERO. Período de 01-10 a 30-09.

Período	P (mm)	Carácter
2006/2007	981,0	húmedo
2007/2008	648,1	muy seco
2008/2009	716,4	muy seco
2009/2010	925,1	medio
2010/2011	820,2	seco

Conclusiones

Se analizaron los registros de 7 estaciones pluviométricas ubicadas en la cuenca del arroyo del Azul y alrededores para el período 2006-2011. Se han realizado análisis de comparación de las estaciones que están en una misma zona (cuenca alta, intermedia y baja), tomando las estaciones a pares. El análisis se realizó

mediante gráficos de dobles masas (mm acumulados), la diferencia de precipitaciones (mm) en periodos de 5 días y las diferencias acumuladas (mm acumulados).

Estos análisis permiten concluir que:

a) hay una influencia estacional entre la precipitación en la cuenca alta y la intermedia-baja que se traduce en mayor precipitación relativa en el invierno austral en las zonas altas, mayor en PAL que en TRA, y que ya desaparece en AZUL.

b) en el inicio de cada año pueden producirse precipitaciones singulares en la cuenca alta y periferia que no se reflejan claramente en el resto del área, y que se presentan de forma más irregular con respecto a la periferia.

c) se pueden acumular diferencias de hasta 150 mm en pocos días entre dos estaciones cuando una es de la cuenca alta de la periferia, y no tanto si es del área (posible efecto de mayor proximidad). Estas diferencias afectan a la recarga que se puede producir. Son mayores hacia la parte serrana (alta).

Con base en dos trabajos antecedentes que analizan las variables con incidencia en el cálculo de la evapotranspiración de referencia, se muestra claramente que su variación espacial es pequeña y por lo tanto también la evapotranspiración potencial varía de forma poco significativa en la región de estudio.

Estos trabajos se realizan en paralelo con otros similares, dentro del mismo proyecto, en el Baix Ebre, 200 km al sur de Barcelona, en un ambiente mucho más agreste, para comparar. Se obtienen condicionantes similares (Espinosa et al. 2013).

Agradecimientos

El trabajo se ha realizado en el marco del proyecto MICIN (actualmente MINECO) CGL2009-2910-CO3 REDESAC, financiado por el Gobierno Español y cuyo objetivo es el estudio de procesos de recarga y descarga a acuíferos mediante trazadores naturales.

Referencias

- Alcalá, F.J. y Custodio, E. 2012. Spatial average recharge through atmospheric chloride mass balance and its uncertainty in continental Spain. *Hydrological Processes*. DOI: 10.1002/hyp.9556.
- Custodio, E. 2010. Estimation of aquifer recharge by means of atmospheric chloride deposition balance. *Contributions to Science*, 6 (1): 81-97
- Espinosa, S., Custodio, E., Alcalá F.J. y Lambán L.J. 2012. Estimación de la recarga en el Baix Ebre (Cataluña, España) mediante el método de balance de la deposición total de cloruro atmosférico. *7ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica. Donostia-San Sebastian*
- Fidalgo, F., Pascual, R. y De Francesco, F. 1975. Geología superficial de la llanura Bonaerense (Argentina). En: *Actas VI Congreso Geológico Argentino*. 103-138
- González Bonorino, F., Zardini, R., Figueroa, M. y Limousin, T. 1956. Estudio geológico de las Sierras de Olavarría y Azul (Provincia de Buenos Aires). *LEMIT*, Series 2, 63 :5-23
- Rivas, R. y Caselles, V. 2004. A simplified equation to estimate spatial reference evaporation from remote sensing-based surface temperature and local meteorological data. *Remote Sensing of Environment* 93: 68-76
- Rivas, R. y Caselles, V. 2005. Reference evapotranspiration in a pasture of Argentina. En: *Recent Research Developments in Thermal Remote Sensing*, (Chapter 6), Research Signpost TC 37/661(2), Fort PO, Trivandrum-695 023, Kerala, India,119-134
- Sala, J. M., González, N. y Kruse, E. 1983. Generalización Hidrológica de la Provincia de Bs.As. *Coloquio Internacional Sobre Hidrología de Grandes Llanuras. Comité Nacional para el Programa Hidrológico Internacional, Olavarría, Argentina*.
- Sala, J.M., Kruse, E., y Aguilino, R. 1987. *Investigación hidrológica de la Cuenca del Arroyo del Azul, Provincia de Buenos Aires*. CIC, Informe 37.