

ESTIMACION DE RECARGAS FREATICAS ESTACIONALES MEDIANTE REGRESIONES ENTRE VARIABLES HIDROMETEOROLOGICAS E HIDROLOGICAS

Zimmermann, Erik D.

CONICET - Centro Univ. Rosario de Invest. Hidroambientales, Fac. Cs.Ex, Ing. y Agrim., UNR.
Riobamba 245 bis (2000) Rosario. TeleFax: +54-341-4808541, erikz@fceia.unr.edu.ar

RESUMEN

En este trabajo se realizó un análisis de regresiones entre variables hidrometeorológicas e hidrológicas con el fin de estimar la recarga freática a partir de ellas. Se obtuvieron valores de recarga mediante el método de variación de niveles, aplicado a los registros freatimétricos de la estación agrometeorológica de Zavalla (UNR) pertenecientes a la serie 1973-2001. Se consideraron las variables acumuladas por trimestres, con agrupamientos aproximadamente estacionales. Se realizaron regresiones lineales múltiples, encontrándose relaciones aceptables entre a) Desnivel freático entre comienzo del ascenso y el pico DH, la precipitación acumulada P_{trim} y los desvíos acumulados de precipitación DAP para las recargas estacionales ($r^2=0.61$); b) DH y la lluvia máxima diaria caída en el trimestre P_{max} para las recargas episódicas ($r^2=0.699$); c) El retardo baricéntrico R_b (distancia temporal entre el baricentro de las lluvias caídas en el trimestre y el pico del nivel freático), DAP y DH ($r^2=0.682$) y d) retardo puntual R_p (distancia temporal entre la lluvia puntual P_{max} y el pico del nivel freático) y DH ($r^2=0.584$). Si bien las regresiones construidas tienen aplicación local, los resultados generales alcanzados permitirían concluir que a partir de información pluviométrica podría realizarse una estimación aceptable de las recargas freáticas.

Palabras clave: recargas freáticas – métodos empíricos - regresiones lineales

ABSTRACT

In this work a regression analysis between hydrometeorologic and hydrologic variables with the purpose of considering the phreatic recharge from them was made. Values of recharge were obtained by means of water-table fluctuation method, applied to Zavalla (UNR) station data (period 1973-2001). The variables were cumulated each three months, with approximately seasonal groups. Multiple linear regressions were made, being acceptable relations between a) Phreatic level difference between beginning of the rise and the peak DH, trimestrial cumulated precipitation P_{trim} and the cumulated precipitation deflections DAP, for the seasonal recharges ($r^2=0.61$); b) DH and daily maximum trimestrial rainfall P_{max} , for the episodic recharges ($r^2=0.699$); c) The barycentric retardation R_b (temporary distance between the barycentre of rainfall in the trimester and the peak of the phreatic level), DAP and DH ($r^2=0.682$) and d) the punctual retardation R_p (temporary distance between punctual rain P_{max} and the peak of the phreatic level) and DH ($r^2=0.584$). Although the constructed regressions have local application, the reached general results would allow to conclude that from pluviometric information an acceptable estimation of the phreatic recharges could be made.

Key words: phreatic recharge – empirical methods – linear regressions

INTRODUCCION

El método más simple para estimar recargas freáticas es el uso de relaciones empíricas entre las mismas y la precipitación de la forma: $R = c_1 (P - c_2)$ donde las constantes tienen validez para una zona en particular. No es factible la extrapolación para otras zonas dado que éstos factores obedecen a características climáticas, morfológicas, pedológicas y geológicas propias del lugar. Existen numerosos estudios sobre estas relaciones (Watson y otros, 1976; Avon y Durbin, 1994), las que han recibido numerosas críticas (Lerner y otros 1990; Allison y otros, 1994) centradas en que la recarga no puede ser estimada solamente con la precipitación.

En este trabajo, sin abandonar el empirismo del planteo, se propone agregar información hidrológica a las relaciones, tal como almacenamiento en la zona vadosa, índices de humedad antecedentes, distribución de la precipitación, etc.

Se ha utilizado para abordar el problema un enfoque sistémico, donde la variable de entrada es la precipitación, las variables de estado están asociadas al grado de almacenamiento en la zona no saturada y la variable de salida está representada por las respuestas del sistema acuífero en términos de variaciones de niveles freáticos y retardos de dichas respuestas.

Para el planteo de las relaciones empíricas se contó con información pluviométrica, de evaporación de tanque A, temperaturas de aire y freaticométrica a nivel diario de la estación Agro-experimental de Zavalla perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario, registrada a lo largo de 28 años. La localidad está ubicada en la llanura chaco-pampeana, de clima templado húmedo, caracterizada por un relieve de moderada pendiente topográfica. El módulo pluviométrico es de 1007 mm (Serie 1973-2003) y la temperatura media anual es de 17,1 °C (Serie 1973-2003). En el perfil del suelo, incluyendo el horizonte C, predomina la fracción limosa en un 70 % con respecto a un 26 % de la arcilla. El resto lo cubre la fracción arenosa. Las principales unidades estratigráficas que se encuentran en el área estudio son: en la parte superior del paquete sedimentario se encuentran los limos de la Formación Pampeano, integrada por limos y arcillas de colores castaños. El espesor en el sector de análisis es del orden de los 30 metros.

Zimmermann y Airasca (2004, comunicación personal) adoptaron el método de la fluctuación del nivel freático para estimar las recargas freáticas en el área de estudio. Los autores realizaron un análisis minucioso del comportamiento del nivel freático frente a eventos de precipitación a nivel diario, a fin de poder discriminar aquellos ascensos manifestados por la recarga natural que llega al acuífero. Asumiendo las premisas que sostiene el método de fluctuación de niveles, la recarga es directamente proporcional al almacenamiento específico y a la variación del nivel freático en un tiempo dado. Los ascensos de nivel para las series se obtuvieron restando al nivel del pico del hidrograma, el último nivel registrado previo al inicio del ascenso. Se consideró un almacenamiento específico del 4,5 %, valor que fuera ajustado mediante modelación numérica del flujo subterráneo (Zimmermann, 2003).

AGRUPAMIENTOS EN VALORES TRIMESTRALES (ESTACIONALES)

Las variables se han integrado en trimestres para que los posibles retardos entre entradas y respuestas del acuífero estén consideradas, al menos hipotéticamente, dentro del intervalo de cálculo. Se consideraron las variables acumuladas por trimestres en los meses de enero-febrero-marzo, abril-mayo-junio, julio-agosto-setiembre y octubre-noviembre-diciembre. Este agrupamiento puede considerarse aproximadamente estacional, ya que el primer trimestre permite el análisis de un comportamiento en verano aproximadamente, el segundo en otoño

y así sucesivamente. Para la serie de 28 años de datos se armaron, para la mayoría de las variables, muestras de 112 valores trimestrales.

Para el análisis de regresiones se consideraron las siguientes variables hidrometeorológicas e hidrológicas, agrupadas por trimestres. Se consideraron dos tipos de variables independientes en el sistema freático: las de entrada y las de estado.

Variables independientes de entrada

- Precipitación acumulada en el trimestre P_{trim} (mm), esta variable se incorporó ya que es la que genera las recargas.
- Lluvia media P_{med} (mm) obtenida como cociente entre la precipitación trimestral y el número de lluvias diarias. Se incorporó para contemplar situaciones de lluvias trimestrales causadas por numerosas tormentas de alta frecuencia ó tormentas intensas poco frecuentes que pueden ocasionar recargas episódicas.
- Lluvia máxima diaria caída en el trimestre P_{max} (mm) a los fines de considerar una recarga episódica. Se consideraron lluvias superiores a 80 mm.

Variables independientes de estado

- Desvíos acumulados de precipitación DAP (mm), obtenidos como suma consecutiva de las diferencias entre la P_{trim} y el promedio de las lluvias trimestrales de la serie, P_{trimed} :

$$DAP_j = \sum_{j=1}^{N_{trim}} P_{trim_j} - P_{trimed} + DAP_{j-1}$$

$$P_{trimed} = \frac{1}{N_{trim}} \sum_{j=1}^{N_{trim}} P_{trim_j}$$

siendo j un trimestre arbitrario dado y N_{trim} el número total de trimestres considerados. En el proceso de acumulación se considera $DAP_0 = 0$. Esta variable dá idea del almacenamiento del sistema mediante un procedimiento sencillo y que sólo involucra operaciones con el uso de datos pluviométricos solamente. La correlación entre DAP y los niveles freáticos es muy buena en la estación Zavalla ($r^2 = 0,64$).

- Índice de estándar de precipitación SPI (adim.) Este índice fue diseñado para mejorar la detección del comienzo de la sequía y para el monitorizamiento de la misma (McKee et al., 1993). Este índice puede obtenerse para diversas escalas de tiempo, las cuales varían desde 3, 6, 12, 24 ó 48 meses. La metodología para el cálculo del SPI se fundamenta en el ajuste de una serie de registros históricos de precipitación total mensual a la función de distribución probabilística de tipo "Gamma incompleta" y, en la tranformación de los datos resultantes a la función Normal Estandar. En otras palabras, el SPI representa el número de desviaciones estandar que cada registro de precipitación se desvía del promedio histórico. Bajo este contexto, puede deducirse que registros de precipitación superiores al promedio histórico del mes correspondiente, darán valores del SPI positivos, esto representa condiciones de humedad; mientras que en contraparte, registros de precipitación inferiores al promedio histórico del mes correspondiente, arrojarán valores del SPI negativos, lo cuál indica una intensidad en el déficit de humedad. Con el propósito de establecer los criterios para la definición de las intensidades de eventos de sequía para una escala de tiempo definida, McKee et al. (1993) propusieron el siguiente sistema de clasificación del SPI :

Tabla 1. Clasificación de SPI

SPI	Condición climática
2.0 o más	Extremadamente húmedo
1.5 a 1.99	Muy húmedo
1.0 a 1.49	Moderadamente húmedo
-0.99 a 0.99	Casi normal
-1.0 a -1.49	Moderadamente seco
-1.5 a -1.99	Severamente seco
-2.0 ó menos	Extremadamente seco

Para el cálculo del SPI se utilizó un programa denominado SPI_SL_6.exe, en entorno DOS, el cual puede adquirirse gratuitamente de la página www.drought.unl.edu/monitor/spi/program/

- Humedad del perfil del suelo HUM (%) Humedad promedio de los primeros 60 cm de suelo, registrada en la estación Zavalla y obtenida mediante método gravimétrico. Esta variable indica el almacenamiento de humedad de los primeros estratos de la ZNS. Estas mediciones se tomaron parcialmente y no tienen continuidad temporal para los 28 años.
- Profundidad freática media del trimestre PF (cm) obtenida como promedio de profundidades diarias. Esta variable indica el estado del almacenamiento subterráneo. No siempre está disponible esta información.
- Almacenamiento en zona no saturada AZNS (mm), obtenido mediante balance según el procedimiento que se detalla a continuación. Esta variable permitió estimar el almacenamiento de la zona vadosa.

$$AZNS_j = \sum_{j=1}^{N_{trim}} P_{trim_j} - ETR_j - Q_j - R_j + AZNS_{j-1}$$

$$ETR_j = ETP_j \frac{AZNS_j}{AZNS_{max}}$$

donde ETR_j es la evapotranspiración real, $AZNS_j$, almacenamiento de humedad en el trimestre considerado, Q_j es el escurrimiento trimestral, R_j la recarga freática y $AZNS_{j-1}$, almacenamiento de humedad en el trimestre previo. Como se observa en la ecuación, ETR_j fue estimada proporcionalmente en función del almacenamiento de humedad en el trimestre, $AZNS_j$, el almacenamiento máximo en el perfil $AZNS_{max}$ (obtenido considerando la ZNS en capacidad de campo) y la evapotranspiración potencial ETP_j , la cual fue integrada trimestralmente partiendo de datos diarios de evaporación de tanque "A" registrados en la estación Zavalla. El escurrimiento trimestral Q_j se estimó aplicando el método de la curva CN del Servicio de Conservación de Suelos (USDA-SCS, 1986), utilizando los datos diarios de precipitación y adoptando un número de curva de 80, característico de las condiciones de coberturas y suelos de la zona. La recarga fue estimado por el método de variación de niveles freáticos, tal como se mencionó precedentemente. El procedimiento de balance se implementó en una planilla electrónica e implicó un proceso iterativo ya que ETR y $AZNS$ son incógnitas simultáneamente para el cálculo de un trimestre.

Estas tres últimas variables requieren de información relevada en campo que en la mayoría de los casos no es fácil obtener, hecho por el cual, haría dificultosa la estimación de recargas a partir de estas variables. De todas maneras se deberá evaluar que ventaja se logra en la correlaciones con la inclusión de ellas.

Variables dependientes

- Desnivel freático entre comienzo del ascenso y el pico DH (cm). Medido entre el pico de la gráfica de niveles y la prolongación recta de la curva de recesión de niveles previa al mismo. La recarga puede estimarse como producto entre el coeficiente de almacenamiento específico S_y y el desnivel DH, de acuerdo a las suposiciones establecidas en el método de fluctuación de niveles freáticos. Para evitar las incertidumbres en la determinación de S_y , aquí se adoptó DH como variable de salida de lugar de la recarga freática. Pronosticando DH y teniendo una buena aproximación el S_y puede conocerse el valor de la recarga.
- Retardo baricéntrico R_b (días), distancia temporal entre el baricentro de las lluvias caídas en el trimestre BII y el pico del nivel freático sobre el cual se toma el DH. El baricentro de lluvias se calculó como: $BII = \sum P_i \cdot t_i / P_{trim}$, donde P_i es la lluvia diaria y t_i es el tiempo en días contados desde el comienzo del trimestre cuando ocurre P_i .
- Retardo puntual R_p (días), distancia temporal entre la lluvia puntual P_{max} y el pico del nivel freático sobre el cual se toma el DH.

ANÁLISIS PRELIMINARES

Rango de valores obtenidos

Tabla 2. Estadísticos de las variables consideradas.

Variables		Promedio	Desvío Estándar	Mínimo	Máximo	Coef. Asimetría	Curtosis
Variables de entrada	Ptrim (mm)	242.2	150.6	25.2	713.0	3.01	-0.07
	Pmed (mm)	11.5	4.9	2.2	27.1	2.37	0.36
	Pmax (mm)	139.8	73.0	51.0	271.0	0.77	-0.28
Variables de estado	DAP (mm)	252.5	206.6	-201.5	670.7	-0.59	-1.83
	SPI (adim.)	-0.05	0.82	-2.44	1.48	-1.73	0.03
	Hum (%)	25.3	3.33	16.9	30.6	-2.25	0.07
	PF (cm)	703.2	95.2	441.0	871.0	-1.59	-1.00
	AZNS (mm)	1808.9	183.6	1453.5	2179.8	-0.31	-1.47
Variables de salida	DH (cm)	25.2	44.5	0	190	7.79	5.21
	R_b (días)	84.0	47.9	16.0	200.0	1.84	0.59
	R_p (días)	22.7	17.1	4.0	67.0	2.79	3.73

Descripción gráfica de las variables

La Figura 1 muestra una matriz gráfica de variables tomadas de a dos, junto con gráficos Box y Wishker que indican cualitativamente para cada variable valores medios y desvíos, extremos y la presencia de outliers. Se observa en la gráfica la presencia de outliers para las variables dependientes DH y R_p . Las gráficas permiten destacar si las variables se encuentran correlacionadas entre sí, con el fin de considerar una u otra en las regresiones. Por ejemplo el caso de Ptrim y Pmed, lo cual es lógico porque se relacionan a través del número de eventos de lluvia del trimestre.

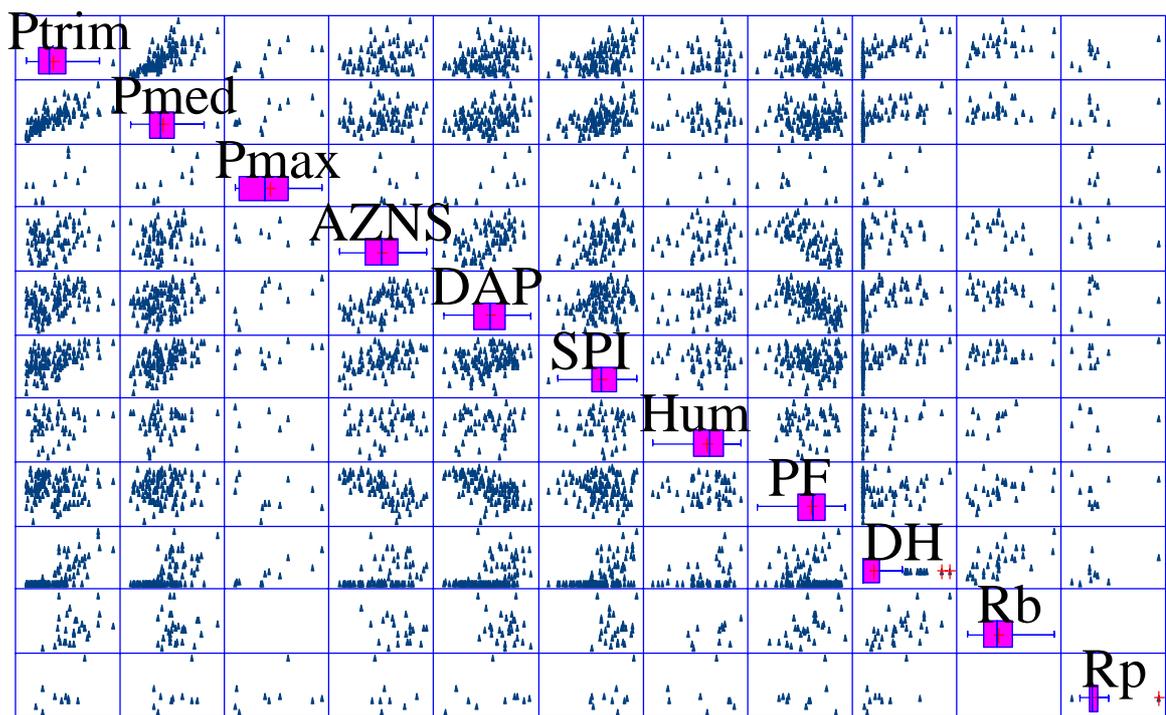


Figura 1 . Matriz de gráficos entre las variables involucradas

Autocorrelaciones de las series

Se estimaron las autocorrelaciones de las series de datos, con lags k entre 1 y 24 intervalos. El coeficiente de autocorrelación de lag k mide la correlación entre valores de la serie en el tiempo t y tiempo $t-k$.

En términos generales puede afirmarse que para las variables de entrada, casi la mitad de los coeficientes de autocorrelación son estadísticamente significativos con un nivel de significancia del 95%, lo cual implica que las series de tiempo pueden no ser completamente aleatorias. Las series presentan altos coeficientes de correlación cada cuatro intervalos, es decir que los datos se correlacionan anualmente. Además, los periodogramas indicaron ciclos anuales

Respecto a las variables de estado puede afirmarse que todas se encuentran coeficientes de autocorrelación significativos por lo que las series de tiempo pueden no ser completamente aleatorias. Los periodogramas indican ciclos de las variables entre 3,5 años y 7 años. Este último valor coincide con las frecuencias de anegamientos y sequías registradas históricamente en la zona de estudio.

Cross-correlaciones entre las series

El coeficiente de cross-correlación de lag k mide la correlación de la regresión lineal entre valores de una serie de variables en el tiempo t y otra serie en el tiempo $t-k$. Las variables para las cuales pudo encontrarse correlaciones superiores a 0,6 fueron Ptrim-DH con lag 0, AZNS-DAP con lag 0 y DAP-PF con lag 1.

Para el resto de las combinaciones las correlaciones fueron bajas. Esto quiere decir que las series de DH-Ptrim y AZNS-DAP se sincronizan, tanto porque las respuestas de DH frente a las lluvias se dan, principalmente, en el mismo trimestre al igual que en el segundo

caso porque representan variables de estado similares. Con respecto a las profundidades freáticas (PF) se evidencia que los desvíos acumulados de la precipitación (DAP) pueden utilizarse para pronosticarlas, porque la correlación entre ambas variables es máxima cuando se adelanta la serie de PF, en otras palabras las DAP del período j se correlacionan fuertemente con las PF del período $j+1$ (Figura 2).

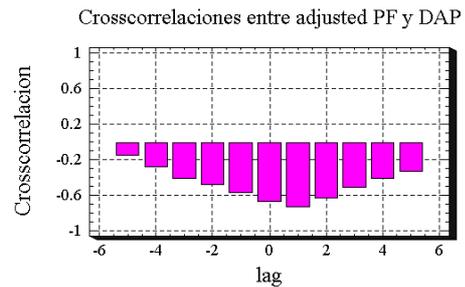


Figura 2 . Cross-correlación entre DAP y PF

REGRESIONES MULTIPLES

Para las regresiones múltiples que se realizaron se tuvo en cuenta la participación de variables de entrada y de estado las cuales se tomaron de a pares. Considerando los desniveles de la freática como variable dependiente se obtuvieron los siguientes coeficientes de determinación (r^2):

Tabla 3. Regresiones múltiples de a dos variables para estimar DH.

Variable	Ptrim	Pmed	Pmax
AZNS	0.6031	0.4106	0.7093
Hum	0.5838	0.4731	0.6954
SPI	0.5563	0.3768	0.7414
DAP	<u>0.6126</u>	0.5201	0.7054
PF	0.5399	0.3234	<u>0.7728</u>

Se creyó conveniente discriminar las recargas estacionales de las episódicas. Ambas se clasificaron en función del tiempo de respuesta de los niveles freáticos respecto a la precipitación y además en función de la magnitud de la lluvia. En términos generales, se evidencia claramente ambas situaciones en los registros de niveles. Según Tabla 3 las mejores correlaciones se dan para Ptrim y DAP en el caso de las recargas estacionales y Pmax y PF para las recargas episódicas.

En una segunda etapa de ajuste, aplicando técnicas de selección automatizada y descartando variables poco significativas desde un punto de vista estadístico se confirmó la relación para las recargas estacionales y se simplificó la relación para las recargas episódicas, alcanzándose las siguientes ecuaciones de ajuste:

$$DH = -33,487 + 0,050 * DAP + 0,190 * Ptrim \quad (r^2 = 0,6126)$$

para las recargas estacionales, con un desvío estandar de los residuos de 27,23 cm y un valor medio de los residuos (error medio) de 18,54 cm (Figura 3) y,

$$DH = -28,9346 + 0,4735 * Pmax \quad (r^2 = 0,6993)$$

para las recargas episódicas, con un desvío estandar de los residuos de 23,88 cm y un valor medio de los residuos (error medio) de 18,96 cm (Figura 4).

Los puntos remarcados en los bordes que se encuentran en la Figura 3, pertenecen a períodos donde el índice de sequía SPI corresponde a épocas húmedas y puede observarse que casi la totalidad de los ascensos de nivel corresponden a trimestres húmedos ($SPI > 0$). Es decir que para que los ascensos sean significativos, por encima de

20 cm por citar un umbral, deben corresponderse a un trimestre húmedo. Por lo tanto el SPI puede dar una orientación adicional para la estimación del DH.

Gráfico de DH

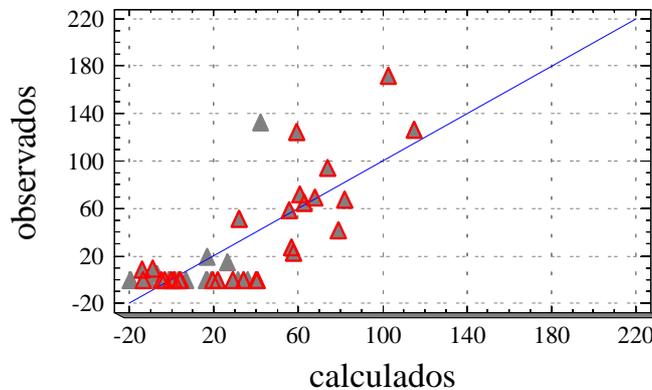


Figura 3. Regresión lineal DH (DAP,Ptrim) para recargas estacionales

Cabe mencionar que en la relación encontrada para las recargas estacionales, sin la incorporación de los desvíos acumulados de la precipitación (DAP) el coeficiente de determinación es de 0,5308, lo cual pone de manifiesto que se mejora en notable medida la correlación sin costo de información adicional.

Modelo ajustado

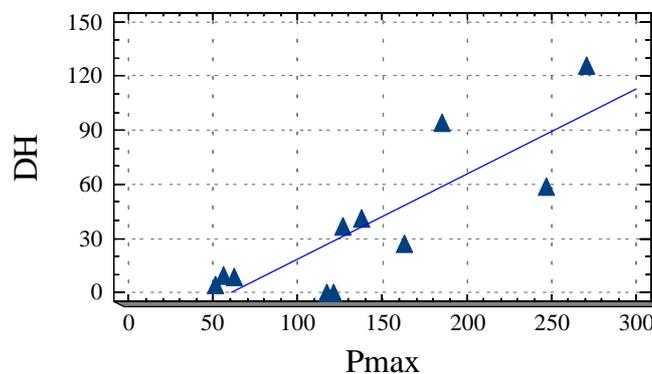


Figura 4. Regresión lineal DH (Pmax) para recargas episódicas

Considerando los retardos baricéntricos como variable dependiente se obtuvieron los siguientes coeficientes de determinación (r^2):

Tabla 4. Regresiones múltiples de a dos variables para estimar Rb.

Variable	Ptrim	Pmed
AZNS	0.2413	0.1156
Hum	<u>0.4023</u>	0.3115
SPI	0.1522	0.0020
DAP	0.1113	0.0381
PF	0.2859	0.2774

Los retardos baricéntricos deben asociarse a las recargas estacionales, por lo que sólo pueden combinarse con las precipitaciones trimestrales. Como se observa en la Tabla 4, las mejores correlaciones se hallaron con la variable Ptrim, en todos los casos. De todas maneras las correlaciones son pobres.

En una segunda etapa de ajuste, aplicando técnicas de selección automatizada, incorporando la variable DH como variable independiente, la cual podría estimarse con las ecuaciones precedentes, y descartando variables poco significativas desde un punto de vista estadístico se confirmó la siguiente ecuación de ajuste:

$$R_b = 83,97 + 0,5284 * DH - 0,1587 * DAP \quad (r^2 = 0,6817)$$

con un desvío estandar de los residuos de 21,24 días y un valor medio de los residuos (error medio) de 15,20 días (Figura 5). La relación encontrada para R_b sin la incorporación de los desvíos acumulados de la precipitación (DAP) da un coeficiente de determinación es de 0,4151, lo cual pone de manifiesto que se mejora en notable medida la correlación sin costo de información adicional.

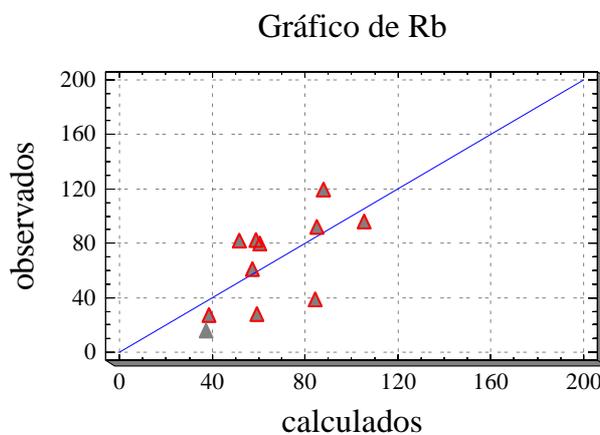


Figura 5. Regresión lineal R_b (DAP, DH) para recargas estacionales.

Considerando los retardos puntuales como variable dependiente se obtuvieron los siguientes coeficientes de determinación (r^2):

Tabla 5. Regresiones múltiples de a dos variables para estimar R_p .

Variable	Pmax
AZNS	0.2333
DAP	0.0780
Hum	0.1337
PF	0.1956
SPI	<u>0.2501</u>

Como se observa en la Tabla 5, las mejores correlaciones se hallaron con la variable SPI. De todas maneras las correlaciones son pobres. Incorporando la variable DH como variable independiente y descartando variables poco significativas desde un punto de vista estadístico se confirmó se confirmó la siguiente ecuación de ajuste:

$$R_b = 0,2253 * DH - 0,06 * P_{max} \quad (r^2 = 0,584)$$

con un desvío estandar de los residuos de 19,77 días y un valor medio de los residuos (error medio) de 13,0 días (Figura 6). El gráfico muestra que el ajuste entre datos y la regresión es pobre.

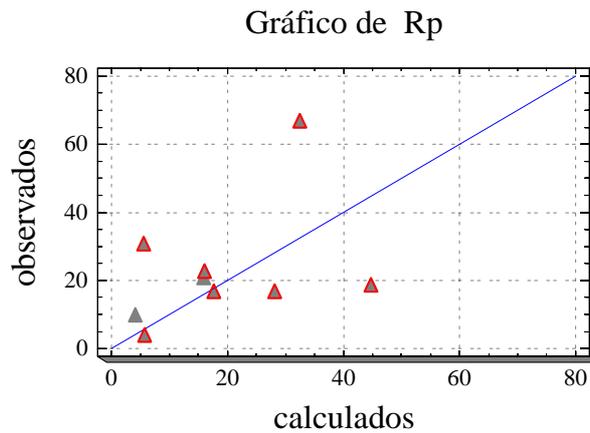


Figura 6. Regresión lineal Rp (Pmax, DH) para recargas episódicas.

CONCLUSIONES

Con el fin de obtener la recarga a partir de relaciones sencillas que involucren información generalmente disponible, se plantean regresiones lineales múltiples que pronostican respuestas del sistema acuífero partiendo de información pluviométrica trimestral. Si bien la validez de los coeficientes obtenidos en las regresiones tiene un alcance local, asociado a las características geológicas, morfológicas y climáticas del lugar, el planteo metodológico podría aplicarse a otras regiones.

La incorporación de variables de estado en las relaciones mejora los pronósticos, y en particular, el uso de los desvíos acumulados de la precipitación lo mejora marcadamente y sin costo de información adicional ya que esta variable se obtiene a partir de la información pluviométrica.

REFERENCIAS

- Allison GB, Gee GB, Tyler SW.** (1994) Vadose-zone techniques for estimating groundwater recharge in arid and semiarid regions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:6-14.
- Avon L, Durbin TJ.** (1994) Evaluation of the Maxey-Eakin method for estimating recharge to groundwater-basins in Nevada. *Water Resour. Bull.*, 30:99-111.
- Lerner DN, Issar AS, Simmers I.** (1990) Groundwater recharge. A guide to understanding and estimating natural recharge. *International contributions to hydrogeology: Vol 8. Internat. Assoc. Of Hydrogeologists*, Heise, Hannover: 345 p.
- McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist.** (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Preprints, 8th Conference on Applied Climatology*, 17-22 January, Anaheim, CA, pp. 179-184.
- USDA-SCS** (1986) National engineering handbook, sect 4, hydrology. US Department of Agriculture-Soil Conservation Service, Washington, DC, USA.
- Watson P, Sinclair P, Waggoner R.** (1976) Quantitative evaluation of a method for estimating recharge to the desert basins of Nevada. *J. Hydrol.*, 31:335-357.
- Zimmermann E.** (2003) Modelo hidrológico superficial y subterráneo desarrollado para la simulación de sistemas de llanura. 2. Estrategias para la calibración. *Boletín Geológico y Minero*. Vol 114. No 2: 159-169. Madrid. España.