



EL AGUA SUBTERRÁNEA: “RECURSO SIN FRONTERAS”

HIDROGEOLOGÍA REGIONAL VOLUMEN I

EDITORES | Rodolfo GARCÍA, Eduardo CASTRO
Miguel AUGE, Carlos FALCÓN
Mónica BLARASÍN



Universidad Nacional de Salta



UNLPam
Universidad Nacional de La Pampa



El Agua Subterránea: Recurso sin Fronteras: Hidrogeología Regional. Volumen I.
Rodolfo Fernando García [et al.]. Primera Edición. 2018.

Editorial de la Universidad Nacional de Salta. Salta. República Argentina. Avenida
Bolivia 5150, Salta Capital (4400).

CD-ROM, DOCX

ISBN 978-987-633-538-6

1. Agua Subterránea. 2. Hidrogeología. 3. Geología. I. García, Rodolfo Fernando
CDD 551.48

Diseño de tapa y diagramación de interior: María Dihel / Nexo di Nápoli

Los trabajos publicados, corresponden a las contribuciones completas presentadas en el XIV Congreso Latinoamericano de Hidrogeología, X Congreso Argentino de Hidrogeología y VIII Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea y que fueron evaluados y aceptados por los miembros del Comité Científico. Ha sido responsabilidad de los autores, el realizar las eventuales correcciones sugeridas por los Evaluadores. Los compiladores no asumen responsabilidad alguna por eventuales errores tipográficos u ortográficos, por los errores gramaticales u ortográficos de los Abstracts, ni por los contenidos de los trabajos incluidos en esta contribución. Estos trabajos se publican tal como fueron enviados por los autores, con leves adaptaciones de formato con la finalidad de conferirles uniformidad a la obra completa de acuerdo a normas de edición previamente establecidas.

ORGANIZAN



Universidad Nacional de Salta



UNLPam

Universidad Nacional de La Pampa



ACTUALIZACIÓN DE LAS ESTIMACIONES DE LA RECARGA EN EL SECTOR CENTRAL DEL VALLE ARGENTINO, PROVINCIA DE LA PAMPA.

Eduardo E. Mariño*, Carlos J. Schulz*, Natalia Loyola* y Eduardo C. Castro**³

* Universidad Nacional de La Pampa- Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Ruta Nac. N° 35 km 334, (6300) Santa Rosa, La Pampa. E-mail: emarinio@exactas.unlpam.edu.ar

** Universidad Nacional de La Pampa- Facultad de Ciencias Humanas. Cnel. Gil 353, (6300) Santa Rosa, La Pampa

Resumen

Los procesos que gobiernan la recarga presentan dificultades para su cuantificación debido a la variabilidad espacio-temporal de las condiciones hidroclimáticas y las características particulares de los sistemas acuíferos. Los métodos existentes proporcionan, en ocasiones, estimaciones con un alto índice de incertidumbre. El objetivo del trabajo ha sido la estimación de la recarga en el sector central del Valle Argentino, cuyo potencial hidrogeológico se asocia a un cordón medanoso que actúa como área de recarga. Se consideró de interés actualizar las estimaciones previas en el área en base a datos de las estaciones General Acha y Resguardo Padre Buodo. Se llevó a cabo un balance hidrológico diario, mediante el código Visual Balan y el análisis cuantitativo de fluctuaciones del nivel freático. Los valores promedio de recarga obtenidos oscilan entre 35 y 53 mm, con máximos entre 76 y 112 mm, que produjeron ascensos de 0,60 a poco más de 1 m, y mínimos entre 0 y 21 mm, con descensos entre 0,4 y 0,8 m, debidos al predominio de la descarga subterránea o recesión. Ambas fluctuaciones implican una variación significativa del almacenamiento subterráneo del acuífero, el cual es la principal fuente de abastecimiento de varias localidades y actividades productivas de la zona. La integración de estos resultados en un modelo conceptual que explica de la dinámica del sistema hídrico, representa un aporte relevante para la gestión del recurso.

Palabras clave: Recarga, Balance hidrológico, Fluctuaciones freáticas

Abstract

The processes that control the recharge have difficulties for their quantification due to hydroclimatic variability and different particularities of the aquifer system. Sometimes, the different methods to recharge assessment provide results with high degree of uncertainty. The purpose of this paper is to estimate groundwater recharge in the central part of Valle Argentino whose hydrogeological potential comes from a sand dunes system that plays an important role as recharge area. It was considered interesting to update the previous estimates with new data from General Acha and Padre Buodo sites. The recharge was obtained from a daily water balance (Visual Balan code) and the water-table fluctuation (WTF) method. The mean values of recharge obtained ranging from 35 to 53 mm, with maximum between 76 and 112 mm, which caused that water tables rises from 0.60 to just over 1 m, and minimum between 0 and 21 mm, linked to a drop in water level between 0.4 and 0.8 m. This fluctuation of water table have a severe impact in the water storage in the aquifer, that represent the main source of groundwater for human and livestock consumption in this area. The integration of results in a conceptual model that explain the hydrodynamic behavior of the system constitutes a relevant contribution to groundwater resource management.

Keywords: Recharge, Water balance, Water table fluctuations

INTRODUCCIÓN

Los acuíferos alojados en ambiente medanoso son los principales recursos hídricos con que cuenta la provincia de La Pampa para el abastecimiento de agua destinada al uso urbano y rural. Las acumulaciones arenosas crean condiciones favorables para la infiltración del agua de lluvia, fuertemente condicionada por el marco climático; sus propiedades hidráulicas permiten una explotación con rendimientos superiores a los obtenidos en otros ámbitos y además incrementan localmente la posibilidad de acceder a agua de mayor aptitud para distintos usos. Estas cualidades dan lugar a su selección como los sitios preferenciales para la ubicación de obras de captación. Sin embargo, dichos sistemas son sensibles al régimen de explotación y cuando éste es inadecuado se puede producir un marcado deterioro cuantitativo y cualitativo del recurso.

El Valle Argentino, en toda su extensión, provee de agua potable a General Acha y otras localidades menores, satisfaciendo la demanda de casi 29.000 habitantes. Además abastece el consumo ganadero en los establecimientos rurales de la zona.

Dada la importancia social y productiva de este sistema hídrico para la provincia de La Pampa, resulta comprensible que se hayan realizado numerosos estudios hidrogeológicos. Entre otros, cabe mencionar los trabajos de Cavalié (1985), Castro y Tullio (1990), Universidad Ben Gurion (1998), Dornes y Schulz (2001), Schulz et al. (1997, 1998, 1999 y 2002), Mariño et al. (2002), Schulz (2004), Mariño y Schulz (2008), UNLPam (2015) y Galea (2017).

Algunos de los antecedentes citados formulan consideraciones sobre la recarga del acuífero. El estudio hidrogeológico de la Hoja General Acha (Cavalié, 1985) asume una recarga media anual de 50 mm. La Universidad Ben Gurion (1998) elaboró un informe sobre las posibilidades de realizar riego y otros usos en el sector comprendido entre Padre Buodo y Chacharramendí, donde estima que la recarga anual oscila entre 22 y 64 mm/año. Otro aporte relevante fue realizado por Schulz (2004), quien estimó la recarga por diferentes métodos y obtuvo un rango amplio de resultados (entre 0 y 57 mm).

El presente trabajo tiene como objetivo actualizar la estimación de la recarga en el sector central del valle Argentino, entre la ciudad de General Acha y el paraje Resguardo Padre Buodo.

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El valle Argentino se sitúa en la región central de la provincia de La Pampa, en una faja transicional entre la región subhúmeda y semiárida (Figura 1). Las precipitaciones registradas en General Acha alcanzan una media anual de 542,8 mm, para el período 1898-2016. La evapotranspiración potencial anual calculada por el método de Thornthwaite, para la localidad mencionada varía de 786 a 837 mm, según el período considerado (Galea, 2017).

El valle es una unidad geomorfológica que se extiende en la provincia de La Pampa, desde aproximadamente Chacharramendi en el Oeste, internándose en la provincia de Buenos Aires hacia el Este. Se trata de una depresión de un ancho, que se incrementa hacia el este, de entre 3 y 18 km. Su extensión longitudinal, con una dirección aproximada ENE-OSO, alcanza unos 210 km, presentando un desnivel topográfico que llega a superar los 50 metros, con respecto a la planicie que lo limita. Su característica morfológica principal es la presencia de un cordón medanoso central que lo divide, conformando lateralmente dos sectores deprimidos, conocidos localmente como los valles de General Acha, al Sur, y de Utracán, al Norte. Ambos valles están parcialmente ocupados por un conjunto de lagunas o salitrales, dependiendo esas características del estadio del ciclo hidrológico (Schulz, et al., 1999).

La hidrogeología del valle está en estrecha dependencia con la geomorfología, ya que mientras el cordón medanoso central actúa como área de recarga, los salitrales, lagunas y bajos laterales lo hacen como sectores de descarga. El agua subterránea se aloja en la secuencia clástica consistente en un manto arenoso, de hasta 15 metros de potencia, debajo

del cual aparecen los limos arenosos del pampeano, que presentan intercalaciones de niveles arcillosos y calcáreos. El espesor total de los sedimentos se incrementa, hacia el este, de 150 a 250 m, ya que, subyaciendo al pampeano, aparecen las formaciones propias de la cuenca de Macachín (Mariño et al., 2002). La secuencia acuífera muestra un efecto de drenaje diferido, con una transmisividad que normalmente varía entre 2 y 34 m²/día, aunque pueden registrarse valores más elevados en los tramos superiores, y un coeficiente de almacenamiento de 1x10⁻³. La profundidad del nivel freático se sitúa entre 1 y 21 m en el cordón medianoso y un máximo de 100 m en la planicie. Los caudales que pueden extraerse alcanzan a 25 m³/h, en perforaciones de 150 metros de profundidad, aunque el uso de sistemas no convencionales (trincheras) permitió obtener hasta 90 m³/h (Schulz, 2004).

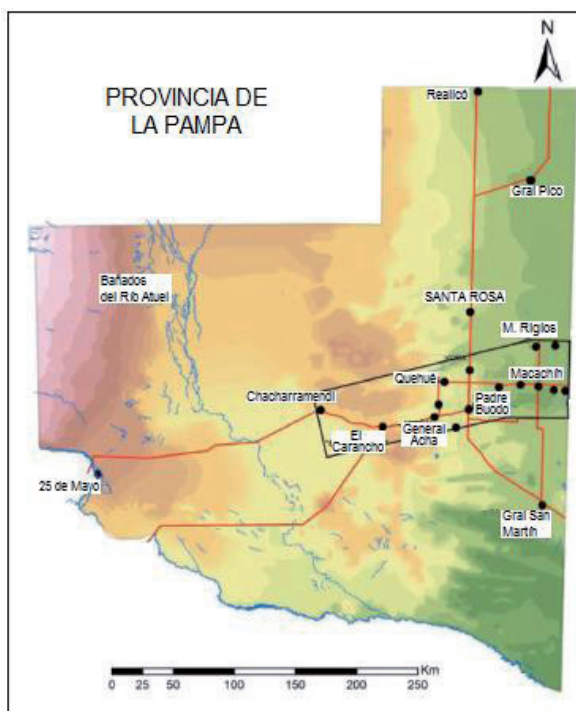


Figura 1. Ubicación del Valle Argentino

METODOLOGÍA

Balance hídrico del sistema

Para la resolución del balance diario en el suelo edáfico, la zona no saturada y el acuífero se utilizó el código Visual Balan V. 2.0 (Samper et al., 2005). Los términos que pueden usarse para el balance son las entradas (precipitación y riego), las salidas (interceptación, escorrentía superficial, evapotranspiración, flujo hipodérmico y flujo subterráneo) y la variación del contenido de humedad del suelo y del nivel de agua en el acuífero (Samper et al., 1999). El código Visual Balan sectoriza el medio subterráneo en tres componentes: a) el suelo edáfico, a través del cual infiltra el agua de lluvia o riego y tienen lugar los procesos de evaporación y transpiración, b) la zona no saturada, en la que pueden existir flujos tanto laterales (subhorizontales) como verticales y c) el acuífero o zona saturada, que recibe la recarga y puede tener flujos de descarga. El flujo de agua entre estos componentes se desarrolla a partir de precipitación, una parte de la cual puede ser interceptada por la vegetación y el resto se distribuye entre escorrentía superficial e infiltración. Una parte del agua infiltrada se pierde por evapotranspiración, otra parte se utiliza para aumentar la reserva de agua en el suelo y el resto constituye la recarga en tránsito. Este flujo es la entrada de agua a la zona no saturada desde la

cual puede fluir lateralmente a la atmósfera en forma de flujo hipodérmico o percolar verticalmente, constituyendo la recarga del acuífero. La descarga subterránea es la salida natural hacia cuerpos de agua superficial o manantiales. El volumen de agua que llega a la zona saturada equivale a la recarga, la cual genera ascensos del nivel freático que pueden ser contrastados con datos piezométricos ingresados por el usuario (Samper et al., 2005).

En función de la información disponible, el balance del sistema hídrico se planteó para la localidad de General Acha (1981-2016) y el paraje Padre Buodo (1982-2016). Para aplicar esta metodología, los distintos parámetros requeridos por el programa se tomaron de antecedentes o tablas provistas por el mismo programa, como se detalla en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros utilizados en el programa Visual Balan (* valores ajustados a sentimiento).

	Parametro	General Acha	Padre Buodo
Datos básicos	Período	1981/2016	1982/2016
	Precipitación media anual (mm)	626,0	639,5
	ETP media anual (mm)	752,3 (1976/95)	
	ETR	Método lineal- Valor umbral de déficit (CBML)=100 mm	
	Recarga en tránsito	Cálculo por el método convencional sin flujo preferente	
Suelo	Porosidad total (%)	35 (Valor tabulado para suelos arenosos)	
	Capacidad de campo (mm)	160 (Ídem anterior)	
	Punto de marchitez (mm)	60 (Ídem anterior)	
	Espesor (m)	1	
	Humedad inicial (mm)	60 (Valor igual al punto de marchitez)	
	Agua útil (mm)	100	
ZNS	Coef. agotamiento flujo hipodérmico (*)	0,77	0,75
	Conductividad hidráulica vert. (m/d) (*)	0,5	
	Ecuación de flujo	Resolución por el método explícito	
Acuífero	Discretización	Método de celda única	
	Coef. agotamiento del acuífero (*)	0,0007 (PN°9)-0,0009 (PN°8)	0,0007
	Rendimiento específico (*)	0,08 (PN°8)	0,08 (PN°4)
		0,09 (PN°9)	0,09 (PN°3)
	Puntos de control piezométrico	2 (PN°8 y PN°9)	2 (PN°3 y PN°4)
	Nivel inicial (msnm)	216,79 (PN°8)-211,81 (PN°9)	177,88 (PN°3)-163,04 (PN°4)
Nivel de referencia (msnm)	215,61 (PN°8)	177,55 (PN°3)	
	210,48 (PN°9)	177,88 (PN°4)	

Análisis de las fluctuaciones del nivel freático

Este método (Healy y Cook, 2002) asume que el ascenso del nivel freático en acuíferos libres se debe exclusivamente al agua de recarga. Entonces, si se considera un período sin explotación (o puntos de control no influenciados por ella), es posible calcular la recarga de un acuífero en un área dada a partir de datos de fluctuación del nivel freático y de cálculos del caudal subterráneo entrante y saliente, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$R = (\Delta h \cdot S) - [(Q_i - Q_o) / A] \cdot \Delta t$$

Donde: R: recarga (L); Δh : Fluctuación del nivel freático en el período considerado (L), S: porosidad efectiva; Q_i y Q_o : Caudal subterráneo entrante y saliente respectivamente ($L^3 \cdot T^{-1}$); A: Área del acuífero (L^2) y Δt : Período de aplicación del balance.

Si se considera un período sin recarga, la fluctuación del nivel freático es igual a la diferencia entre el caudal subterráneo entrante y saliente del área analizada. Si durante tales intervalos los niveles se profundizan, la lámina de descenso equivale a la que sale del área por escurrimiento subterráneo. Esta fluctuación negativa es asimilable a lo que Olin (1995) denomina "tasa de recesión", la cual puede obtenerse a partir del descenso del nivel freático correspondiente a períodos sin precipitación.

Las estimaciones de la recarga, para el período 1996-2016, se basaron en los registros freáticos que la Administración Provincial del Agua toma periódicamente en dos líneas de puntos de control. Un grupo de freáticos, que incluye del número 1 al 5, están emplazados sobre la ruta Nac. 35, en cercanías del paraje Padre Buodo. El segundo grupo, ubicado sobre la Ruta Prov. 9 desde General Acha a Utracán, incluye los freáticos 6 al 12 (Figura 2). Para este trabajo se seleccionaron aquellos puntos ubicados exclusivamente en la parte más elevada del cordón medanoso. Así, en la zona de Padre Buodo se consideraron los pozos N°2 (con datos sólo hasta 2005), 3 (con datos sólo hasta 2002) y 4, mientras que en General Acha se tuvieron en cuenta los puntos N° 7, 8 y 9. La serie de registros se dividió en subperíodos de duración aproximadamente anual, entre junio de un año y mayo del siguiente, y para cada uno se calculó la fluctuación media del conjunto de pozos considerados.

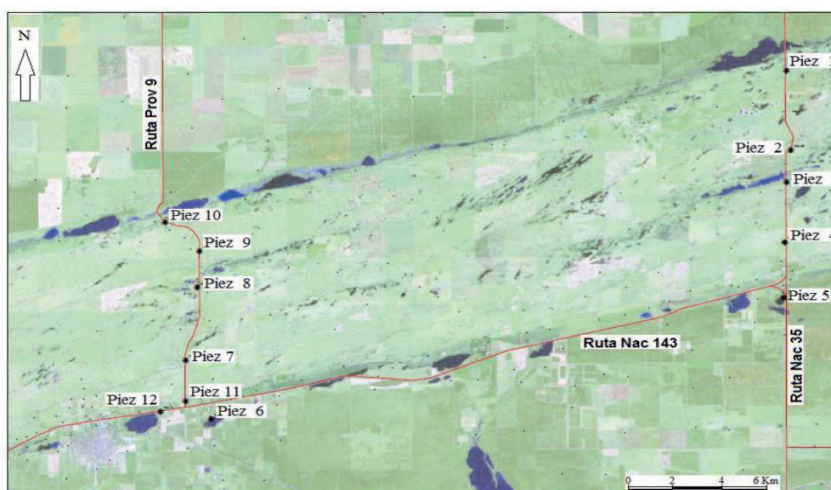


Figura 2. Imagen del sector estudiado con la ubicación de los freáticos

RESULTADOS

Balance hídrico del sistema

Los resultados medios anuales del balance hídrico para los dos sitios evaluados se resumen en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados del balance para los sitios evaluados.

Localidad	Padre Buodo	General Acha
Recarga media anual	39,5	35,3
Rango de la recarga	0 a 81	0 a 76
Evapotranspiración real	484,3	472,8
Error Cuadrático Medio	0,542 – 0,583	0,363 – 0,391

Las figuras 3 y 4 muestran el ajuste entre los niveles freáticos calculados y medidos para un punto de control de cada sitio, donde se observa una concordancia aceptable aunque con errores cuadráticos medios algo mayores en el caso de Padre Buodo.

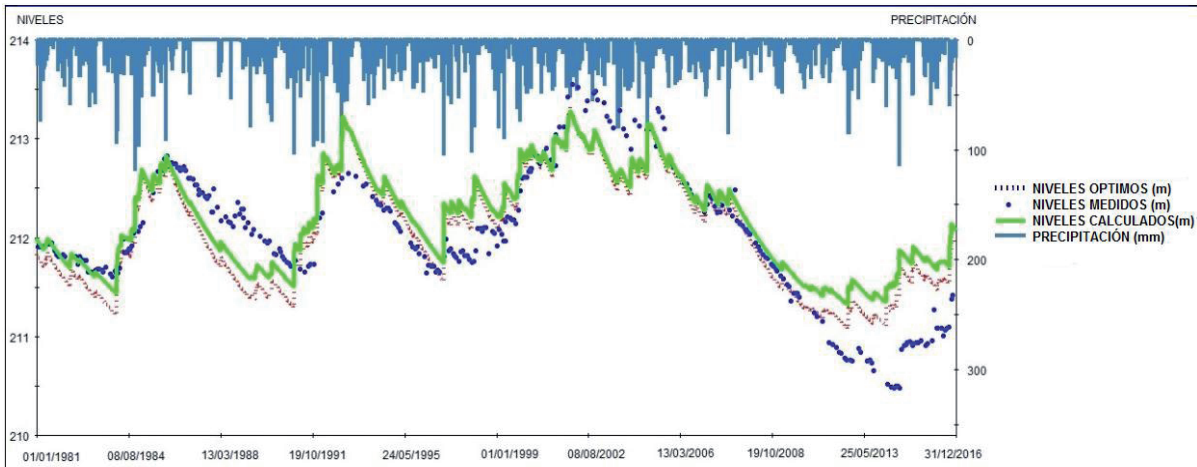


Figura 3. Ajuste de niveles (en msnm) calculados y medidos para el piezómetro N°9 (General Acha)

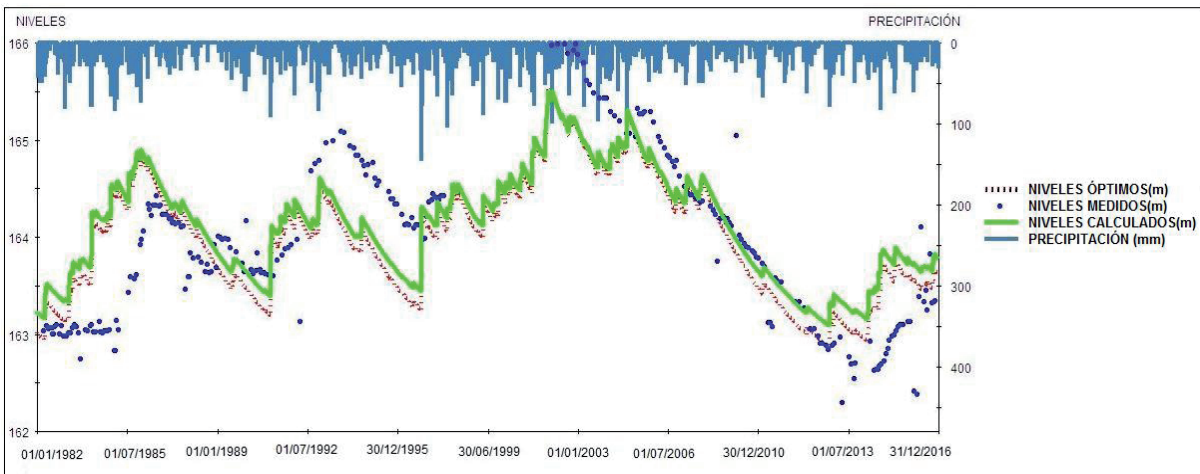


Figura 4. Ajuste de niveles (en msnm) calculados y medidos para el piezómetro N°4 (Padre Buodo)

Los freatigramas muestran que los niveles más someros ocurren en 2001 y 2002, coincidentemente con tres períodos consecutivos cuya recarga promedio para ambos sitios fue de 67,7 mm (mínima de 53 mm y máxima de 81 mm), asociada a precipitaciones superiores a 800 mm. Luego se mantiene una tendencia gradualmente descendente que llega a la mayor profundización entre 2013 y 2014, cuando el nivel freático cae entre 3 y 3,70 metros con respecto a su posición más elevada. Este último estadio es el resultado de 4 períodos previos y consecutivos con precipitaciones inferiores a 500 mm, dando lugar a una recarga promedio de 5,2 mm (mínima de 0 y máxima de 12 mm).

Análisis de las fluctuaciones del nivel freático

La tabla 3 muestra una síntesis de la precipitación y la fluctuación media del nivel freático en los distintos subperíodos para Padre Buodo y General Acha.

La recarga promedio para los 20 subperíodos calculados fue de 46,6 mm para General Acha, con un rango entre 21 y 91 mm, y de 53,4 mm para Padre Buodo (mínimo de 0 y máximo de 112 mm). En ambos casos se adoptó una porosidad efectiva de 0,07, que es el menor de los valores ajustados por el método anterior y la tasa de recesión aplicada fue de -0,13 mm/d, que se obtuvo de los registros correspondiente a General Acha y como promedio de 7 intervalos con

precipitación nula o inferior a 3 mm. El valor resultante para Padre Buodo (-0,38 mm/d) se descartó, ya que producía sobreestimaciones significativas de la recarga.

Tabla 3. Precipitación (P en mm) y fluctuación media del nivel freático (Δ NF en m) en los sitios evaluados

Fecha	Padre Buodo		General Acha	
	P	Δ NF	P	Δ NF
07/06/1996				
03/06/1997	802,0	0,40	741,3	0,15
12/06/1998	931,5	0,49	808,0	0,45
01/06/1999	690,5	0,03	724,0	-0,01
10/05/2000	807,1	0,37	896,0	0,46
21/06/2001	801,5	0,61	759,5	0,54
18/06/2002	871,0	0,04	740,0	0,10
09/06/2003	645,5	-0,42	596,0	-0,34
01/06/2004	753,5	-0,32	721,0	0,15
14/05/2005	693,0	0,02	772,5	-0,34
16/06/2006	571,5	-0,43	557,5	-0,32
31/05/2007	729,0	-0,40	726,5	-0,06
28/05/2008	535,5	-0,69	602,0	-0,27
05/06/2009	382,0	0,19	349,0	-0,38
18/06/2010	434,0	-0,82	491,0	-0,40
03/06/2011	462,0	0,22	611,0	-0,04
22/06/2012	441,0	-0,43	468,0	-0,37
04/07/2013	610,0	-0,14	611,5	0,00
18/06/2014	580,0	-0,14	541,5	-0,12
02/06/2015	645,5	0,45	622,5	0,42
06/06/2016	620,0	0,26	686,5	0,16

En Padre Buodo se destacan dos lapsos que registraron precipitaciones superiores a 800 mm (de junio 1996 a junio 1998 y de junio 1999 a junio 2002) cuando se produjeron ascensos del nivel freático de 0,89 y 1,02 metros, respectivamente. En estos subperíodos se estimaron valores de recarga que variaron entre 50 y 96 mm. Por el contrario, en el subperíodo que va de junio 2009 a junio 2010, que acumuló una precipitación de 434 mm y fue precedido por otro con sólo 382 mm, tuvo lugar un descenso 0,82 m, asociado a valores nulos de recarga.

El mismo escenario se verifica para General Acha durante los dos períodos húmedos, aunque con precipitaciones iguales o superiores a 740 mm. Considerando la fluctuación media de los tres puntos de control utilizados, los ascensos del nivel freático fueron de 0,60 y 1,10 metros, respectivamente, vinculados a recargas estimadas entre 54 y 91 mm. En el lapso más seco, con precipitaciones similares al sitio anterior y una recarga de sólo 21 mm, se produjo un descenso de 0,40 metros.

CONCLUSIONES

La integración de los resultados presentados indica que, bajo condiciones naturales, en períodos con precipitaciones superiores a 740 mm, potencialmente generadoras de recargas mayores a 50 mm, son esperables ascensos del nivel freático entre 0,60 y poco más de 1 metro. Por el contrario, cuando la recarga es nula o exigua (menor a 20 mm), asociada a lluvias inferiores a 500 mm, ocurrirían descensos de 0,40 a 0,80 metros, debidos al predominio de la descarga subterránea o recesión. En este contexto, los valores medios de recarga obtenidos del modelo Visual Balan representarían un escenario de equilibrio o con fluctuaciones leves del nivel freático.

Este modelo conceptual es una simplificación de la dinámica del sistema, dado que la respuesta del nivel freático no es lineal a las precipitaciones del período considerado, sino que también incide su repartición estacional y la pluviometría de los períodos antecedentes.

No obstante, la variabilidad descripta, que es característica de las regiones semiáridas, da cuenta de la sensibilidad del sistema hídrico ante las variaciones pluviométricas y, consecuentemente, de la recarga y alerta sobre la importancia de una correcta gestión del recurso.

AGRADECIMIENTOS

La Administración Provincial del Agua suministró los registros freáticos y datos de precipitaciones diarias que sirvieron de base para este trabajo.

REFERENCIAS

- Castro, E. y J.O. Tullio, 1990.** Acuífero Valle Argentino (Síntesis Preliminar). Administración Provincial del Agua, Santa Rosa (Inédito).
- Cavalié, C., 1985.** Estudio Hidrogeológico Hoja General Acha. Revista Pampa Geológica, Publicación Especial: 64-80.
- Dornes, P. y C. Schulz, 2001.** Determinación de la recarga en la región de La Pampa central, Argentina. En A. Medina, J. Carrera y L. Vives (Eds.): Las caras del agua subterránea. Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas, 1(1): 614-622, Inst. Tecnológico Geominero, Madrid.
- Galea, J.M., 2017.** Caracterización Hidrogeológica del Valle Argentino, Sector General Acha – El Carancho. Tesis de grado. Inédito. Facultad de Cs. Ex. y Nat.. Univ. Nacional de La Pampa. 63 p.
- Healy, R.W. y P.G. Cook, 2002.** Using groundwater levels to estimate recharge. Hydrogeology Journal, 10:91–109.
- Mariño, E.E. y C.J. Schulz, 2008.** Importancia de los acuíferos en ambiente medanoso en la región semiárida pampeana. Huellas, 12:113-127.
- Mariño E.E., C.J Schulz, M.A. Fernandez, E. Castro y M.G. Dalmaso, 2002.** Hidroquímica subterránea del sector oriental del Valle Argentino, provincia de La Pampa. VIII Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales, Actas: 139-141, Santa Rosa.
- Olin, M., 1995.** Estimation of base level for an aquifer from recession rates of groundwater levels. Hydrogeology journal, 3(2): 40-51.
- Samper, J., Ll. Huguet, J. Ares y M. A. García-Vera, 1999.** Modelos interactivos de balance hidrológico. *Estudios de la Zona no saturada del suelo*. Eds. Muñoz-Carpena, Ritter, Tascón. ICIA: Tenerife.
- Samper, J., Huguet, L., Ares, J., García-Vera, M.A. 2005.** Manual del usuario del programa VISUAL BALAN V. 2.0. ENRESA, Madrid, 139 pp.
- Schulz, C.J., 2004.** Estudio hidrogeológico del area central del valle argentino, La Pampa, Argentina. Elaboración de una propuesta de gestión de los recursos hídricos. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Córdoba, 141 p, Córdoba (inédito).
- Schulz, C., G. Bonorino, L. Vives y P. Dornes, 1997.** Estudio de Planificación y Gestión de los Recursos Hídricos del Valle Argentino, Provincia de La Pampa. Congreso Nacional de Hidrogeología, Actas: 403-414, Bahía Blanca.
- Schulz, C.J., P. F. Dornes, L.S. Vives y A.G. Bonorino, 1998.** Caracterización hidrogeológica del acuífero detrítico del Valle Argentino, La Pampa, Argentina, con énfasis en el estudio de la recarga. 4º Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea, Vol. 3:1457-1467, Montevideo.
- Schulz, C.J., E.E. Mariño, E. Castro, M.G. Dalmaso, A. Fernandez y P. Dornes, 1999.** Evaluación preliminar de la calidad del agua subterránea en un sector del Valle Argentino, provincia de La Pampa. VII Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales, Actas: 289-296, Santa Rosa.
- Schulz C. J., Castro, E.C. y Dalmaso G., 2002.** Hidrogeoquímica del Acuífero del Valle Argentino (L.P). Aptitud del Agua Para Uso Humano y Rural. XXXII IAH & VI ALHSUD Congress, 277-286, Mar del Plata. (versión en CD).
- Universidad Ben Gurion del Negev, 1998.** Valle Argentino. Planificación Regional Integral. Informe Final. Parte I. 151pp.
- Universidad Nacional de La Pampa (UNLPam), 2015.** Inventario de los Recursos Hídricos de la Prov. de La Pampa. Dirección de Investigación Hídrica. Secretaría Recursos Hídricos. La Pampa.