

Estimación de la recarga en zonas áridas según distintos métodos. Área medanosa del Sur de Península Valdés

María del Pilar Alvarez¹, Mario Alberto Hernández¹, María Marta Trovatto¹, Nilda González¹

¹ Cátedra de Hidrogeología. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. Av. 60 y 122, (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina.

Mail de contacto: alvarez.maria@conicet.gov.ar

RESUMEN

La Península Valdés, ubicada en el noreste de la Patagonia extrandina, se desarrolla bajo clima árido y carece de cursos de agua permanente. El objetivo principal de este estudio es estimar la recarga del acuífero local para su captación. La metodología utilizada consistió en la resolución del balance hídrico de paso diario, la estimación a través de la fluctuación de niveles y el balance del ion cloruro. Los resultados obtenidos indican que el porcentaje de agua de lluvia que alcanza al acuífero es del orden del 10 % según la metodología del balance, entre 9 % y 16 % en relación a la fluctuación de niveles, y del 4,5 % en base al método de los cloruros. Teniendo en cuenta las limitaciones de cada uno de ellos se concluye que el agua de recarga representa el 10 % de la precipitación local.

Palabras clave: Recarga; Zonas áridas; Médanos; Patagonia Extrandina

ABSTRACT

The Península Valdés, in northeastern Extra-Andean Patagonia, is characterized by its arid climate and the lack of perennial watercourses. The main objective of this study is to estimate the local aquifer recharge for its exploitation. The methodology consists in the use of three methods: daily time-step soil water balance, water-table fluctuation and chloride mass balance. The results obtained show that the precipitation percentage that reaches the aquifer is approximately 10% according to the water balance method, between 9% and 16% for the water table fluctuation method and 4.5% based on the chloride mass balance. Taking into account the limitations of each method, it can be concluded that groundwater recharge represents 10% of the local precipitations.

Keywords: Recharge; Arid zones; Dunes; Extra-andean Patagonia

Introducción

Una de las principales limitantes para el desarrollo socioeconómico de las regiones áridas, es la escasez de agua disponible en cantidad y calidad, principalmente en aquellas zonas donde el recurso hídrico superficial está ausente, teniéndose que recurrir al subterráneo. En esos casos, una vez reconocidos conceptualmente los mecanismos actuantes, la recarga del sistema acuífero se convierte en el insumo más importante y a la vez más difícil de cuantificar (Scanlon et al., 2010; Timms, 2012; de Vries y Simmers, 2002; Hernández et al., 2009; Herczeg y Leaney, 2011; Alcalá et al. 2012). Un buen método de estimación de entrada de agua al acuífero debe contabilizar todos los componentes del balance hidrológico, contemplar los procesos y mecanismos de la recarga, tener bajos errores asociados y no ser sensible a parámetros difíciles de estimar o medir (Lerner et al., 1990). Se sabe a su vez

que, las principales causas de error son la adopción de modelos conceptuales incorrectos e inobservancia de la variabilidad espacial y temporal de los factores involucrados en el proceso (Simmers, 1997).

Los métodos más comúnmente utilizados para estimar la recarga en zonas áridas son los balances hidrológicos, análisis de fluctuaciones de los niveles freáticos, cuantificación de la pérdida de caudal de cursos influentes, modelos numéricos y balance de masa de ión cloruro. Cada uno de ellos presenta ventajas y desventajas, las que no solo dependerán del método propiamente dicho, sino de las características hidrogeológicas del medio en donde se aplican. Es por ello que en general es aconsejable utilizar más de un método en la estimación de la recarga, de modo de poder compara los resultados y validarlos con observaciones de campo, siendo este aspecto al que apunta la presente investigación destinada a evaluar la recarga del acuífero

productivo de Península Valdés, para la captación con destino a proveer agua a Puerto Pirámides.

La inquietud parte del interés del gobierno provincial en verificar la sustentabilidad del aprovechamiento pretendido, habida cuenta de las particularidades climáticas de la zona, condicionantes de la presencia del recurso hídrico subterráneo en calidad y cantidad suficiente.

Metodología y área de estudio

El área seleccionada para el alcance de los resultados es de aproximadamente 7 km², localizada en el sector central de la Península Valdés al Suroeste de la Salina Grande (Figura 1).

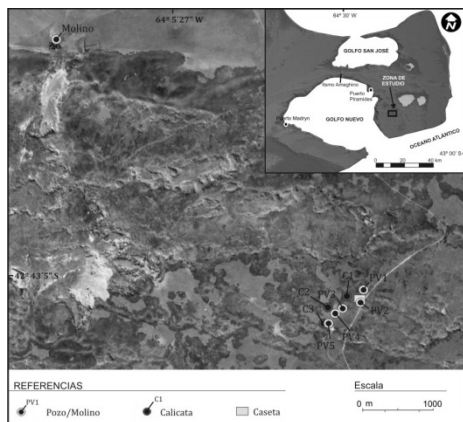


Figura 1. Área de estudio

Para cumplir con el objetivo, debió instalarse instrumental específico de registro, practicar calicatas para la toma de muestras de suelo y mantener un monitoreo de medición y muestreo durante el año abarcado por el estudio.

El sitio de monitoreo cuenta con una estación meteorológica programada para registrar cada dos horas precipitación acumulada, temperatura, velocidad y dirección del viento, un dispositivo de registro continuo de nivel piezométrico instalado en una de las 6 perforaciones preexistentes (PV5), programado para realizar cuatro lecturas diarias, y un colector de lluvias.

En el mismo predio se realizaron tres calicatas, seleccionándose la ubicación en función de los cambios de vegetación, a los fines de obtener las muestras necesarias para el cálculo de la textura y capacidad de campo (insumo del balance hídrico a nivel del suelo).

En ellas se extrajeron muestras, a los 10 cm, 50 cm y 100 cm de profundidad y se identificaron "in situ" color, humedad, granulometría, estructura, grado de consolidación, presencia raíces y tipo de límite entre los diferentes horizontes.

La caracterización hidrometeorológica regional se efectuó en base a registros seriadados diarios de precipitación y temperatura de la estación meteorológica del Centro Nacional Patagónico (CENPAT para el período 1982 - 2011) y a los de precipitación acumulada mensual de la Estancia La Adela (1912 - 2006), localizada en las inmediaciones de Puerto Pirámides.

El balance se calculó con el software Balshort v.3, sobre un lapso de 30 años y el insumo ETP con el método Thorntwaite-Mather (1957).

Resultados

Caracterización general de las precipitaciones

Con los datos pluviométricos de las dos estaciones se construyó un pluviograma integrado (Figura 2) para caracterizar regionalmente el fenómeno. Resalta la alta variabilidad interanual de las precipitaciones medias anuales, factor común a ambas estaciones y característico de regiones áridas. Hay que notar que si bien la fluctuación es alta, el comportamiento comparativo entre estaciones es relativamente homogéneo.

La media anual de precipitaciones se posiciona en 234,4 mm para el período 1912 a 2006 (Ea. La Adela), y en 217 mm para el período 1982 a 2011 (CENPAT). Puntualmente, el total anual acumulado para 2011 por la estación instalada es de 193 mm. Es importante destacar la gran variabilidad en los valores medios anuales en ambas series, típica de regímenes áridos donde un efecto de tormenta puede alterar marcadamente el monto anual esperado. La franja de valores más frecuentes observable en la grafica se desarrolla entre los 100 mm/año y los 300 mm/año.

Con la intención de suavizar las variaciones puntuales y analizar si existe una tendencia histórica, se incorporó al pluviograma la curva de promedios móviles (para lapsos decenales) donde se puede observar (Figura 2) que no hay una tendencia uniforme para todo el periodo, sino que en general se reconocen periodos húmedos o secos, alternantes a lo largo de la serie, aunque con inclinación descendente hacia fines del período.

Interesa resaltar de este análisis la ocurrencia de periodos donde los valores de precipitación se mantuvieron por encima de la

media histórica, en los cuales las probabilidades puntuales de infiltración serían mayores.

De todas formas, es necesario introducir el concepto de precipitación efectiva como aquella que supera el umbral de interceptación vegetal y "mojado" del suelo. Para Patagonia extrandina y de acuerdo con Hernández et al. (2002), estarían en el orden de los 5 mm diarios.

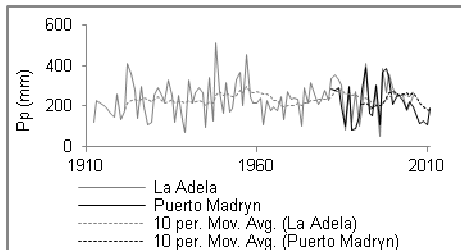


Figura 2 Pluviograma integrado de las estaciones CENPAT y Ea. La Adela

Caracterización hidrológica subterránea

Hidrogeología

En base a información antecedente (Alvarez, 2010), se conoce que el sistema geohidrológico regional está conformado por:

- una Zona No Saturada (ZNS) correspondiente a los depósitos cuaternarios (predominantemente arenas, gravas y limos) y según la posición topográfica, parte de los terciarios,
- un acuífero freático contenido, según la posición espacial, en estos mismos depósitos o exclusivamente en arenas de la *Formación Puerto Madryn*, (explotado fundamentalmente en la región),
- uno o más acuíferos semiconfinados/ confinados, limitados por estratos arcillosos o limo-arcillosos en la misma formación o en la *Formación Gaiman* infrayacente (acuitardos/ acuicludos),
- Un hidropoyo dado por el potente espesor de sedimentos con características acuicludas de la infrayacente *F. Gaiman*.

La descripción hidrogeológica local, se presenta en base a los registros de los sondeos existentes en el área (PV1 a PV5), de los cuales se cuenta con interpretación gráfica del cutting de perforación. Las perforaciones alcanzan entre 70 y 90 metros de profundidad y se encuentran distribuidas en un radio menor a 0,5 km. Dada la proximidad entre sondeos y

similitud de sus perfiles, se ha decidido describirlos de manera integrada.

La columna general comienza con un nivel arenoso, en la mayoría de los casos interrumpido por una capa de rodados dentro de los primeros 5 metros. Continúa con estratos de arenas, tobas y arcillas típicas de la *Fm. Puerto Madryn*. Aproximadamente a los 50 m aparece el primer nivel acuífero productivo, constituido por una intercalación de tobas arcillosas y arenas. Luego continúa una secuencia de arcillas con algunas intercalaciones de tobas arcillosas hasta alcanzar después de los 65 m (en uno de los sondeos después de los 75 m), el segundo nivel acuífero. Los registros de las perforaciones finalizan por debajo de este último, luego de atravesar entre 2 y 3 metros de arcillas.

Hidrodinámica

Con respecto a las características hidrodinámicas regionales, el fenómeno de recarga se reconoce a partir de la configuración de la red de flujo (Alvarez et al., 2010) y de las características físicas de la comarca, identificándose un tipo de recarga autóctona directa (infiltración del agua de lluvias que cae en la región) para el acuífero freático y una autóctona indirecta, por percolación a través del mismo, para los niveles acuíferos inferiores. Se la localiza principalmente en la porción Sur de la Península, en coincidencia con una de las divisorias subterráneas. Ese sector está caracterizado geomorfológicamente por la presencia de grandes médanos y mantos medanosos, unidades que indican condiciones favorables para la infiltración efectiva/recarga.

La descarga del sistema se produce regionalmente sobre el perímetro de la Península y de modo local en las inmediaciones de las Salinas Grande, Chica y gran Salitral.

El área bajo estudio se encuentra sobre el ámbito principal de recarga, donde el flujo subterráneo es esencialmente de tipo vertical descendente. La importancia de identificar la dirección y sentido del flujo radica en que, al momento de analizar el origen de la recarga, debe identificarse si existe o no afluencia subterránea.

Dadas las condiciones descriptas, en este caso el ingreso lateral de agua subterránea sería despreciable, tomándose por lo tanto como único, el procedente de la infiltración del agua de lluvias.

Estimación de la recarga

Balance hídrico local

El balance hidrológico sigue siendo el método más difundido y utilizado como estimador. No obstante, hay que aclarar que los balances atmosféricos modulares anuales o mensuales en estas regiones, no tienen sentido real ya que resultan siempre deficitarios, puesto que la evapotranspiración potencial siempre superará a la precipitación y no existirían, por lo tanto, excesos atribuibles a una potencial recarga (Carrica, 2009). Pero ocurre que durante un evento importante de tormenta, el valor de evapotranspiración puede ser superado, existiendo en ese momento un exceso hídrico.

Es por ello que el balance hídrico a nivel del suelo se realizó de modo seriado diario, y para que el valor de recarga calculado fuese representativo se optó por efectuarlo para un lapso de 30 años (1982-2011).

Se utilizó el software Balshort v.3 (Carrica, 1993), cuyos insumos son precipitaciones acumuladas diarias (Ppdía), textura del suelo (Tx), capacidad de campo (Cc) y evapotranspiración potencial mensual (ETP).

Los registros de Ppdía corresponden a la estación meteorológica GENPAT, no obstante lo cual, para el año 2011 se manejaron datos de la estación meteorológica instalada en el área de estudio. Cabe aclarar que las precipitaciones utilizadas fueron las consideradas "efectivas", iguales o mayores a 5 mm (precipitación calificada).

El insumo ETP se calculó con el método Thornthwaite Mather (1957).

Tx y Cc corresponden a determinaciones en laboratorio sobre muestras extraídas de las tres calcatas. De los resultados se tomó el valor promedio para capacidad de campo (37 mm) y la textura más representativa (arenosa).

Los resultados del balance de paso diario se sintetizan de manera anual en la Tabla 1.

Es posible advertir la gran variabilidad existente entre los excesos obtenidos para los diferentes años, lo que se explica como se mencionara al tratar las precipitaciones, por el efecto que tiene un evento de tormenta sobre una media anual baja.

Es por tal razón que el fenómeno de recarga ocurre sólo durante eventos puntuales y se manifiesta de manera irregular a lo largo de todo el lapso considerado, fluctuando entre valores nulos y mayores a 200 mm. El promedio de los excesos del lapso 1982-2011 alcanza los 32 mm, que expresado como porcentaje del

promedio anual histórico de precipitaciones (217 mm), representa el 14,7 %, pero si se descartan los dos años con tormentas extremas (1992 y 1998), se tiene que los excesos alcanzan los 22 mm anuales, lo que resultaría en una recarga de aproximadamente el 10%.

Es importante mencionar que para los últimos 5 años se registran excesos solamente en 2011, donde sobre una precipitación calificada de 143 mm, ingresarían potencialmente 13,2 mm, representando una recarga del 9 % respecto de las lluvias calificadas y de 6,3 % mm de las totales de dicho año. Este último valor se considera más real y representativo, por lo tanto será considerado al momento de evaluar la comparación de resultados según las diferentes metodologías.

Tabla 1: Síntesis anual de los resultados diarios del balance hídrico a nivel del suelo.

Año	Pp calificada	EVTR	Exc
1982	236	159,8	76,2
1983	219	159,2	59,8
1984	208	208	21,1
1985	149	109,1	40,3
1986	61	58,3	0
1987	261	197,3	66,4
1988	50	50	0
1989	61	61	0
1990	108	105,5	2,5
1991	229	168,5	57,9
1992	337	209,8	128,9
1993	118	118	0
1994	92	91,3	0
1995	257	205,7	49,6
1996	86	86	0
1997	281	219,1	58,6
1998	346	131,6	217,8
1999	287	247,7	38,5
2000	131	126,8	5
2001	181	164,1	16,9
2002	170	138,7	27,7
2003	127	126,3	4,3
2004	146	137,8	8,2
2005	150	92,9	25,2
2006	129	113,6	47,4
2007	91	90,9	0
2008	69	69	0
2009	71	70,3	0
2010	54	54	0
2011	143	129,7	13,2
Promedio	162	130	32

Estimación de recarga por fluctuación de niveles de agua subterránea

El método se basa en la premisa de que el ascenso de niveles en un acuífero libre es debido a la llegada del agua grávida al nivel freático. Puede usarse bajo cualquier condición climática, indicado principalmente para acuíferos someros con respuestas rápidas. Si bien en este caso no es somero y es esperable que la respuesta sea diferida, se considerará dicho aspecto al momento de interpretar los resultados.

La recarga se calcula en base a la siguiente ecuación (Scanlon et al., 2002):

$$R = S_y * \Delta h / \Delta t$$

S_y : rendimiento específico (porosidad efectiva)

$\Delta h/\Delta t$: ascenso del nivel freático en un tiempo determinado

El valor de S_y se obtuvo de tablas que lo estiman en función de la litología y/o granulometría. Los sedimentos que conforman el acuífero objeto se incluyen dentro de la clasificación de Sanders (1998) en la categoría "arenas finas a arenas limosas" correspondiéndoles el rango de 10 a 28 % de porosidad efectiva. Por otro lado Custodio y Llamas (2001) proponen 18 % para gravas y arenas con algunos limos y 15 % para limos con arenas muy finas.

Dado que la *Formación Puerto Madryn* presenta variaciones faciales evidentes, es esperable que se reflejen en valores dispares de la porosidad efectiva, por lo cual se decidió considerar un valor medio situado entre los dos más bajos propuestos por los mencionados autores, resultando en tal sentido en una porosidad efectiva de 12,5 %.

El valor Δh se calculó entre el máximo y el mínimo registrado por el Diver instalado en PV5.

Los datos obtenidos indican una fluctuación de 280 mm, que multiplicada por la porosidad efectiva (0,125) da un valor de altura de lámina de agua de 35 mm. Esto representaría aproximadamente el 16 % de las precipitaciones medias históricas (219 mm) y si se consideraran solo las lluvias caídas durante el lapso 2010-2011 (193 mm), la recarga resultaría 18 % de las precipitaciones.

Teniendo en cuenta lo expuesto al presentar el método, cabe contrastar la respuesta de los niveles con las lluvias, tal como puede

observarse en la grafica de la Figura 3. Es posible advertir que no existe un correlato claro entre los picos de precipitación y los ascensos potenciométricos, interpretándose que existe un lógico desfase entre los eventos de lluvias mayores a 10 mm y las elevaciones del nivel del agua subterránea.

A modo de obtener un valor mínimo o más conservador, se tomó el año de precipitaciones extremas (387 mm en 1998) observándose que la recarga disminuye al 9 %.

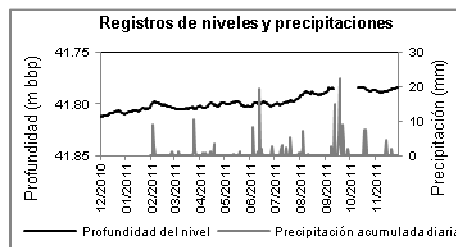


Figura 3. Registro de la fluctuación de niveles y precipitaciones acumuladas diarias.

Balance de cloruros

El balance de cloruros es un método hidroquímico que permite establecer el porcentaje de las precipitaciones que alcanza el acuífero, mediante el contraste del contenido de cloruros en agua subterránea respecto al de la lluvia. Constituye una herramienta que se ha utilizado para cuantificar la infiltración eficaz en diferentes ambientes, tanto geomorfológicos como climáticos (Bonorino, 1991; Varni et al., 1996; Bonorino y Torrente, 1992; Malán et al., 1993, 1997; Custodio, 2010; Alcalá et al., 2012) comprobándose su buena correspondencia con otras metodologías.

Se basa en que el balance de cloruro en el terreno a largo plazo (sin variación del almacenamiento en el perfil del terreno) y sin otras fuentes de cloruro, naturales o antrópicas, en condiciones climáticas estables, según Custodio (2009), es:

$$A = R * Cl_R - ES * Cl_{ES}$$

A: Deposición atmosférica

R: Recarga

Cl_R : Concentración de Cl del agua de recarga

ES: escorrentía superficial

Cl_{ES} : Concentración de Cl del agua de escorrentía superficial

En terreno llano, en especial bajo climas semiáridos, suele ocurrir que el último término es pequeño y puede despreciarse (Custodio, 2009).

El método arroja buenos resultados cuando se dispone de registros extensos de deposición atmosférica (obtenida con totalizadores que recojan la deposición húmeda con la lluvia y la seca) y cuando el agua muestreada proviene de la porción superior del acuífero freático.

Para desarrollar este análisis se aplicó el concepto de Factor de Enriquecimiento en Cloruros (FEC) de acuerdo a Mercado et al. 1977, en Rosenthal, 1987, tal que:

$$FEC = \frac{Clas}{Clp}$$

Clas: concentración de cloruros en el agua subterránea (mg/l)

Clp: concentración de cloruros en el agua de lluvia (mg/l)

En zonas con escurrimiento superficial poco significativo (tal el caso de la zona medanosa en la Península), la inversa de este valor representa el coeficiente de infiltración eficaz, como fuera propuesto por Schöeller (1962).

Para el área de estudio se utilizaron valores de *Clp*, obtenidos del análisis de muestras tomadas del colector de lluvias, optándose para el cálculo por el valor medio de una serie de 3 muestras del lapso 2010-2011 (22,75 mg/l).

Las determinaciones de *Clas*, se hicieron sobre muestras del molino (único pozo suficientemente somero para que el balance hidroquímico tenga sentido), cuyo contenido medio es de 496 mg/l.

Tanto las concentraciones de cloruros en agua de lluvia como en subterránea corresponden a valores medios de registros muy cortos, como para ser considerados característicos de área, especialmente el asociado a las precipitaciones (*Clp*).

No obstante, dado que son los únicos datos disponibles en la región, el cálculo de la recarga por medio del balance de cloruros será considerado como una herramienta de contraste de los otros métodos.

En base a la fórmula anteriormente presentada, se calculó un factor de enriquecimiento de 21,8, por lo cual el coeficiente de infiltración resultante es de 0,045, o bien la recarga representa el 4,5 % de las precipitaciones. Es importante advertir que la recarga estimada por este método está en el orden de magnitud de la obtenida por del balance del suelo para el mismo período.

Discusión

En base a los diferentes métodos aplicados, se hará a continuación una valoración de los resultados obtenidos por cada uno de ellos (Tabla 2).

En primera instancia es posible advertir una coherencia a nivel general encontrándose los extremos en un rango de 15 % - 4 %, lo cual habla de la validez de las técnicas aplicadas. No obstante se deben aclarar determinados aspectos de cada una de ellas que permitirán acotar el rango.

Tabla 2. Síntesis de la estimación de la recarga por los diferentes métodos.

Método	Porcentaje de recarga respecto de la precipitación
	Promedio histórico: 14,7 %
Balance hídrico local	Depurado (sin tormentas): 10% Año 2011: 6,3 % Año 2011: 18 %
Fluctuación de niveles	Promedio histórico: 16% Máximo de precipitación: 9 %
Balance de cloruros	Año 2011: 4,5 %

En el caso del balance hídrico local, es necesario indicar:

1. Se espera que el método en general arroje valores menores que los reales puesto que el cálculo de evapotranspiración incluido en el balance fue diseñado para zonas húmedas con mayor cobertura vegetal y además no tiene en cuenta mecanismos que faciliten la recarga en zonas áridas (Hernández et. al. 2002, 2009) tales como "reducción de las pérdidas consuntivas" (modificaciones de la vegetación que disminuyen la evapotranspiración) o "infiltración rápida" (suelo con alta permeabilidad) que se encuentran presentes en el área.

2. Los años con tormentas en el lapso 1982-2011 están desviando notablemente los resultados, puesto que sin duda en esos momentos ocurre el fenómeno de recarga, debiendo ser considerados como excepcionales por la baja recurrencia que tienen dentro del

registro histórico, de modo de no sobreestimar el ingreso.

En base a lo antedicho, se desestimarán el valor mínimo de 6,3 % y el máximo de 14,7 % quedando como porcentaje de recarga referencial obtenido bajo esta metodología el de 10 %.

Con relación al método de la fluctuación de niveles, la principal crítica es como se mencionara, la profundidad a la que se encuentra el nivel del agua subterránea, por lo que no sería posible asignar las fluctuaciones medidas a eventos de precipitación puntuales.

Existe un margen de error que se intentará disminuir, considerando el promedio histórico de precipitaciones y teniendo como referencia que el ingreso mínimo ocurriría si se asigna la fluctuación máxima medida a la precipitación anual extrema dentro del periodo (año 1998). De este modo, la recarga sería mayor a 9 % y cercana a 16 %.

Por su parte, el balance de cloruros, usado en este caso como contraste, dada la limitación debida al corto período monitoreado, indica una recarga de 4,5%, en el orden de magnitud de las obtenidas por los otros dos métodos.

Hechas todas las aclaraciones, se toma como recarga referencial del área la procedente del promedio de los porcentajes seleccionados de cada metodología, resultando en el 10 % de la precipitación local. Cabe aclarar que para otros sectores de Patagonia extraandina, análisis agronómicos del flujo del agua en el suelo indicaron, una "pérdida de agua por percolación" (termino equiparable al de recarga), del 10% de las precipitaciones (Paruello y Sala 1995).

Conclusiones

El área de estudio se encuentra sobre el ámbito principal de la recarga regional, donde el flujo subterráneo es esencialmente vertical descendente, siendo el único ingreso el precedente de la infiltración de agua de lluvia.

Se identifica un tipo de recarga autóctona directa para el acuífero freático y una autóctona indirecta a través del mismo, hacia el nivel acuífero inferior.

Para la estimación de la recarga es aconsejable utilizar más de un método, para poder comparar resultados y validarlos con observaciones de campo.

Dentro de los más convenientes para zonas áridas, se aplicaron el balance hidrológico de paso diario, análisis de fluctuaciones de niveles freáticos y balance de cloruros en la zona saturada. Cada uno presentó ventajas y

desventajas, las que no solo dependieron del método, sino de las características hidrogeológicas del medio en donde se lo empleó.

No obstante fue posible advertir una coherencia general encontrándose los extremos en un rango de 15 % - 4 %, lo cual muestra su validez. Se tuvieron además en cuenta determinados aspectos que permitieron acotar el rango, resultando en una recarga del 10% según el balance hídrico, entre 9 - 16 % en base a la fluctuación de los niveles y por ultimo de 4,5 % según el balance del ión cloruro.

Se tomó como recarga referencial del área la obtenida por promedio de los resultados obtenidos de cada metodología, del orden de 10 % de la precipitación local.

Agradecimientos

Se agradece a la Secretaria de infraestructura, Planeamiento y Servicios Públicos de la provincia del Chubut por haber impulsado este estudio,

Al Lic. Erico Bianchi por su participación en las tareas de campo.

Al personal de la comuna de Puerto Pirámides y al Establecimiento ganadero Los Médanos por haber facilitado la instalación y cuidado del instrumental de monitoreo.

Referencias

- Alcalá, J.A. y Custodio, E. 2012. Evaluación de la recarga a los acuíferos mediante balance de masa de cloruro atmosférico y su incertidumbre en el territorio continental Español. *7ª Asamblea Hispano-Portuguesa de geodesia y geofísica*. Donostia. San Sebastián. Nº 551.
- Alvarez, M. P. 2010. Investigación geohidrológica de un sector de Península Valdés, provincia de Chubut. *Tesis doctoral*. UNLP. Inédita.
- Alvarez, M. P., Weiler, N. E., Hernández, M. A. 2010. Linking geomorphology and hydrodynamics: a case study from Península Valdés, Patagonia, Argentina. *Hydrogeology Journal*. 18:473-486. DOI: 10.1007/s10040-009-0528-x.
- Bonorino, A, G. 1991. Evaluación de la recarga de agua subterránea en el área de la vertiente occidental de las sierras australes, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, XLVI (1-2):93-102.
- Bonorino, A. G. y Torrente, R. H. 1992. Balance iónico aplicado al cálculo de la infiltración eficaz en áreas de relieve medanosos.

- Terceras Jornadas Geológicas Bonaerenses*, Actas:189- 194, La Plata.
- Carrica, J.C. 1993. Balshort: Un programa de balance hidrológico diario del suelo aplicado a la región sudoccidental pampeana. *XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos* (4): 243-248. Mendoza.
- Carrica, J. C. 2009. Cálculo de la recarga en zonas áridas y semiáridas. Recarga de acuíferos. Aspectos generales y particulares en regiones áridas. *VI Congreso Argentino de Hidrogeología*, 71- 80. Santa Rosa, La Pampa.
- Custodio, E., & Llamas, R. M. 2001. Hidrología Subterránea. Tomos I y II. Ed. Omega, S.A. Barcelona.
- Custodio, E. 2009. Recarga a los acuíferos extensos a partir de la deposición atmosférica. *Boletín Geológico y Minero*, 120 (4): 631-640
- Custorio E. C. 2010. Estimation of aquifer recharge by means of atmospheric chloride deposition balance in the soil. *Contributions to Science*, 6 (1): 81–97
- de Vries, J.J. y Simmers, I. 2002. Groundwater recharge: an overview of processes and challenges. *Hydrogeology Journal*. 10 :5–17.
- Hernández, M. A., González, N., y Sánchez, R. 2002. Mecanismos de recarga de acuíferos en regiones áridas. Cuenca del Río Seco, provincia de Santa Cruz, Argentina. *XXXII Congreso AIH y VI Congreso ALSHUD*. Ed. CD Rom. Mar del Plata.
- Hernández, M. A., González, N y Hernández, L. 2009. "Regiones áridas. Procesos diferenciales de recarga y casos ejemplo de Argentina". En: J. Carrica, M. Hernández y E. Mariño (eds.), *Recarga de acuíferos. Aspectos generales y particularidades en regiones áridas*,63-70
- Herczeg , A. L. y Leaney, F. W. 2011. Review: Environmental tracers in arid-zone hydrology. *Hydrogeology Journal* 19: 17–29
- Lerner, D.N., Issar, A.S. y Simmers, I. 1990. Groundwater recharge. A guide to understanding and estimating natural recharge. *International contributions to hydrogeology*. Vol 8. IAH, Heisse, Hannover, 345 p.
- Malán, J. M., Mariño, E. y Casagrande, G. 1993. Aplicación de distintos métodos para la estimación de la infiltración eficaz en áreas medanosas. *V Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales*, Actas II:51-54, Santa Rosa.
- Malán, J. M., Mariño, E. E. y Casagrande, G. 1997. Estimación de la infiltración eficaz en dos sectores del acuífero Santa Rosa-Anguil, provincia de La Pampa. *I Congreso Nacional de Hidrogeología*, Actas: 153-163, Bahía Blanca.
- Paruelo J. M, y Sala, O. 1995. Water losses in the patagonian sterre: a modelling approach. *Ecology* 76 (2) 510-520.
- Rosenthal, E. 1987. Chemical composition of rainfall and ground water in recharge areas of the best Shean-Harod multiple aquifer system, Israel. *Journal of Hydrology*, 89 (3/4): 329-352.
- Sanders, L. 1998. *A manual of Field Hydrogeology*. Prentice-Hall.
- Scanlon, B. R., Mukherjee, A., Gates, J., Reedy, R. C. y Sinha, A. K. 2010. Groundwater recharge in natural dune systems and agricultural ecosystems in the Thar Desert region, Rajasthan, India. *Hydrogeology Journal*, Volume 18, Number 4, Pages 959-972
- Scanlon B.R., Healy R.W., Cook P.G. 2002. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. *Hydrogeology Journal*.10:18–39
- Schöeller, H., 1962. *Les eaux souterraines*. Ed. Mason et Cie., 642 p., París
- Simmers, I. 1997. Groundwater recharge principles, problems and developments. In: *Recharge of phreatic aquifers in (Semi-) arid areas*. IAH, A.A. Balkema / Rotterdam / Brookfield, (19): 1-18.
- Thorntwaite, C. W., y Mather, J. R. 1957. *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and water balance*. Centerton, 312 págs.
- Timms, W. A., Young, R. R y Huth, N. 2012. Implications of deep drainage through saline clay for groundwater recharge and sustainable cropping in a semi-arid catchment, Australia. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, 1203–1219
- Varni, M., Rivas, R. Weinzettel, P. Usunoff, E. y Arias, D. 1996. Estimación de la recarga por el método del balance de cloruro en la zona intermedia de la Cuenca del Arroyo del Azul, provincia de Buenos Aires. *VI Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales*, Actas:245- 253, Santa Rosa.