

EVALUACIÓN DE LA RECARGA COMO VECTOR DE FLUJO PARA EL TRANSPORTE DE SOLUTOS, EN EL ÁREA INDUSTRIAL DE BAHÍA BLANCA (ARGENTINA)

Evaluation of Recharge as Vector Flow for Solute Transport, in the Industrial Area of Bahía Blanca (Argentina)

Scherger, Leonardo; Zanello, Victoria; Lexow, Claudio

Centro de Geología Aplicada, Agua y Medio Ambiente (CGAMA). CIC
Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur (UNS), San Juan 670, B8000ICN,
Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina
leonardo.scherger@uns.edu.ar

Palabras Clave: recarga, balance hidrológico, transporte de solutos, Bahía Blanca.

Resumen

El complejo industrial y petroquímico de Bahía Blanca se implantó sobre un relleno artificial compactado, en algunos sitios complementado con material de refulado del estuario. Esto provocó una modificación en la hidrodinámica natural del sistema, repercutiendo directamente en las tasas de recarga del acuífero freático. Este estudio tiene como objetivo cuantificar los excesos hídricos del suelo mediante el cálculo del balance hidrológico, aplicando los códigos Balshort V.3 y Hydrus 1D. La cuantificación de las tasas de recarga serán, fundamentales para determinar la velocidad de transporte de potenciales contaminantes. Los resultados permiten estimar el rango de tasas de recarga en 12% a 18% de las precipitaciones bajo condiciones de lluvia media (500 – 575 mm/año). El excedente hídrico promedio, sin considerar la carga antrópica, de 44 mm/año es consistente con un tiempo de transporte para solutos no reactivos de 10,2 años, representando a mediano plazo un potencial peligro para el acuífero freático.

Abstract

The industrial and petrochemical complex of Bahia Blanca was implanted on an artificial compacted landfill that in some sites complemented itself with dredging material. This caused a modification in the natural system's hydrodynamics, affecting directly the rates of recharge of the phreatic aquifer. This study aims to quantify the water excesses of soil by calculating the hydrological balance, applying the Balshort V.3 and Hydrus 1D codes. The quantification of recharge rates will be fundamental to determine the transport velocity of possible pollutants. The obtained results allow estimating the range of recharge rates as 12% to 18% of rainfall under normal conditions of raining (500 – 575 mm/year). The average water excess, without considering artificial hydraulic load, of 44 mm/year is consistent with a transport time for unreactive solute of 10,2 years, representing in medium term, a potential danger for the phreatic aquifer.

Introducción

El proceso de recarga es una componente clave en el modelo hidrogeológico, siendo su valoración fundamental para el manejo y protección de los recursos hídricos subterráneos. El flujo de agua que circula por la zona no saturada (ZNS) puede ser considerado como el vector de transporte de ciertas sustancias que podrán ser potencialmente contaminantes para el recurso hídrico subterráneo. El objetivo de este trabajo es analizar las tasas de recarga y su distribución mediante el análisis de los excesos hídricos (EX) del suelo en el área del complejo industrial Polo Petroquímico de Bahía Blanca. Las valoraciones fueron realizadas según el cálculo del balance hidrológico del suelo (Balshort V.3; modificado de Carrica, 1993) y simulaciones numéricas mediante el código Hydrus 1D V4.17 (Simunek *et al.*, 2013). Las tasas de recarga calculadas permitieron estimar la velocidad de transporte de solutos no reactivos.

El área de estudio se ubica en el ámbito estuarial costero, dentro del polo petroquímico-industrial, al sur de la ciudad de Bahía Blanca. El clima de la ciudad es templado, con valores medios de temperatura comprendidos entre 14 °C y 20 °C y estaciones térmicas bien diferenciadas (Capelli de Steffens y Campo de Ferraras, 2004). Las precipitaciones históricas para la zona (serie 1890-2000) muestran un módulo anual de 555 mm (Caló *et al.*, 2004). Los

valores máximos mensuales se manifiestan en verano y primavera, y los mínimos en invierno. En el subsuelo se identifican, entre 10 y 15 metros de profundidad limos loésicos de edad Pliocena reconocidos como Sedimentos Pampeanos (Fidalgo *et al.* 1975), que se encuentran cubiertos por los depósitos marinos recientes de la Fm. Maldonado (Fidalgo, 1983) aflorante en los sectores periféricos del área industrial. El relleno artificial de los suelos comprende material constituido por sedimentos pampeanos triturados y compactados artificialmente. Sobre este material se asientan las plantas industriales y las vías de comunicación. Con la implantación de este relleno se modificaron las condiciones hidrogeológicas naturales del subsuelo.

Materiales y métodos

El cálculo del balance de agua en el suelo se realizó mediante el software Balshort V3 (modificado de Carrica, 1993). El código calcula de manera iterativa y en intervalos diarios, las reservas de agua, los excesos hídricos y la evapotranspiración real. La reserva de agua útil fue estimada en 45 mm, para un suelo de textura limosa.

Para la resolución del balance por simulaciones numéricas se utilizó el software Hydrus 1D (Simunek *et al.*, 2013). En el mismo se consideró una sección equivalente a una reserva de agua útil de 50.8 mm compuesta por material limo arenoso, cuyos parámetros hidráulicos se estimaron según la función de pseudotransferencia Rosetta Lite V.1.1 (Schaap *et al.*, 2001). El modelo hidrodinámico utilizado es el de Van Genuchten – Mualem (Van Genuchten *et al.*, 1980; Mualem, 1976), sin considerar el fenómeno de histéresis.

$$S_e = 1 + [(\alpha h)^n]^{-m}$$

Donde $S_e = (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r)$ es la humedad efectiva, $\alpha = h^{-1}$ es un parámetro empírico determinado por la inversa del valor de entrada de aire, h corresponde a la tensión matricial y n y m , son parámetros empíricos siendo $m = 1 - 1/n$. La conductividad hidráulica se estima mediante la ecuación:

$$k(S_e) = K_s S_e^l \left[(1 - S_e^{\frac{1}{m}})^m \right]^2$$

Donde K_s corresponde a la conductividad hidráulica saturada y l es la conductividad de poro para el cual se sugiere un valor de 0,5 por Mualem (1976) tras numerosos ensayos en varios suelos.

El límite superior corresponde a un borde variable en el tiempo, dependiente de las condiciones atmosféricas, precipitaciones (P) y valor de evapotranspiración potencial (EVTP) diaria, que incorpora el escurrimiento superficial; y para el inferior, se consideró drenaje libre. La EVTP de referencia se calculó según el método de Penman-Monteith modificado según la FAO N° 56 (1998). Las condiciones iniciales fueron introducidas en términos de contenido de agua, considerando un contenido volumétrico medio de $0,2 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$.

Resultados

Balance hidrológico del suelo

El análisis de la serie hidrológica 2011-2015 permite visualizar la variabilidad de los excesos hídricos, donde el principal condicionante es la magnitud y distribución de los ingresos de agua en el perfil. El año 2014 registra un valor de exceso de 121,9 mm (21,3% de las precipitaciones), valor similar al calculado por Carrica *et al.* (2008) para el intervalo 2003-2006. Por su parte, las tasas de recarga disminuyen en los años predecesores, siendo mínimas para el periodo 2012-2013 (1,2 – 2,5% de las P) caracterizados como años secos, donde las precipitaciones no superaron los 400 mm anuales. Estas condiciones se desarrollan nuevamente durante el año 2015, con excesos de 6 mm/año y precipitaciones que alcanzaron únicamente los 353 mm.

Modelo de simulación numérica

Los resultados alcanzados en la simulación (Figura 1) demuestran tendencias consistentes, evidenciando la existencia del proceso de recarga en grandes cuantías, sobre todo durante periodos pluviométricos lluviosos.

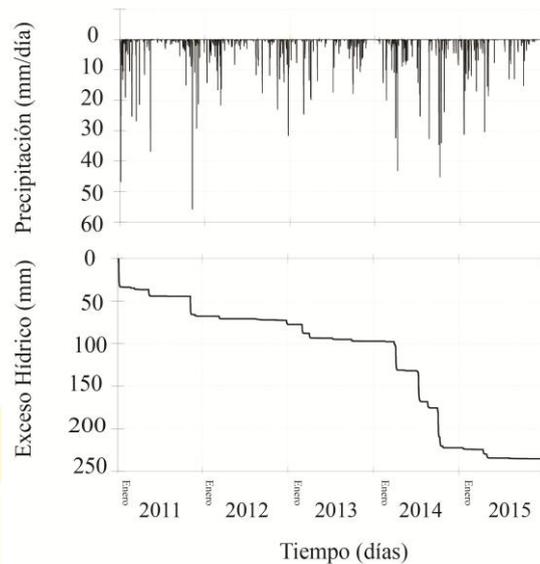


Figura 1. Simulación de los excesos hídricos para la serie 2011-2015. Se observa en la parte superior las precipitaciones en escala diaria.

Para los suelos del área industrial de Bahía Blanca, se determina que las tasas de recarga pueden superar el 20% de las precipitaciones similarmente a lo expuesto por Carrica *et al.*, (2008), pero únicamente en periodos húmedos. En presencia de años con una precipitación anual de entre 500 a 575 mm, próxima al módulo pluviométrico, los excesos se estiman entre un 12% y un 18% de las P (Tabla 1), donde el proceso mantiene una relación estrecha con la distribución de lluvias durante el año. Sin embargo, bajo sequías prolongada, los excesos se tornan mínimos, siendo la mayor parte de la humedad del perfil consumida por la evapotranspiración.

Tabla 1. Resumen de resultados para cada año simulado

	2011		2012		2013		2014		2015	
	Balshort	Hydrus 1D								
P (mm)	529		395		319		573		353	
EVTP (mm)	1460									
EVTR (mm)	491,5	460,7	370,4	359,6	332	296,4	447,3	433,4	352,1	321,4
EX (mm)	73,8	66,4	4,8	8,6	7,8	18,6	121,9	118,9	6	12,91
R(%P)	13,9	12,5	1,2	2,2	2,5	5,8	21,3	20,7	1,7	3,7

Evaluación del tiempo de tránsito

El tiempo de renovación en función de la recarga puede expresarse como:

$$\tau(R) = \theta \frac{H}{R}$$

Siendo θ la humedad volumétrica media del suelo, H el espesor no saturado y R la recarga media anual. Considerando un contenido volumétrico medio de la ZNS de $0,25 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, la profundidad del nivel freático a 1,8 m (Scherger, 2017), y un exceso hídrico 44 mm/año (serie 2011-2015), resulta que una sustancia potencialmente contaminante alcanzaría el acuífero libre aproximadamente a los 10,2 años desde su incorporación a la superficie del suelo por transporte de tipo advectivo. Considerando la situación más extrema de un ciclo de años húmedos consecutivos, equivalente a una recarga media de 120 mm/año, el tiempo de tránsito se reduciría a solo 3,7 años. Cabe destacar que esta metodología considera únicamente el flujo matricial, pudiendo ser el tiempo estimado mucho menor si se consideran flujos preferenciales por los macroporos del suelo o dispersión. A su vez las velocidades de transporte pueden verse magnificadas por aportes antrópicos a la ZNS por pérdidas desde tanques, tuberías, etc.; eventos frecuentes en el ámbito industrial.

Conclusiones

La recarga es un proceso variable en el espacio y el tiempo, el cual debe ser analizado en particular para cada año hidrogeológico. El principal condicionante de la cuantía del exceso hídrico en el suelo es la magnitud y distribución de las precipitaciones. Los resultados alcanzados permiten estimar que las tasas de recarga se encuentran en el rango del 12% al 18% de las precipitaciones bajo condiciones promedio, pudiendo superar el 20% de las precipitaciones durante años lluviosos. A partir de un excedente hídrico promedio de 44 mm/año se puede estimar un tiempo de transporte para solutos no reactivos de 10,2 años, tiempo que es drásticamente reducido dada la ocurrencia de ciclos hidrológicos lluviosos. La contaminación del acuífero libre costero representa un gran peligro para la vida del estuario de Bahía Blanca, destino final de todas las aguas de la zona, por lo que cada contaminante deberá ser analizado en particular dada sus interacciones con el medio y los procesos que puedan afectarlo (adsorción, precipitación, degradación, etc.).

Bibliografía

- CALÓ, J., E. FERNÁNDEZ, A. MARCOS Y M. SEQUEIRA. 2004. "Medidas de mitigación de los impactos Ambientales producidos por lluvias intensas en la ciudad de Bahía Blanca". VIII simposio de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Medioambiente. Córdoba, Argentina.
- CAPELLI DE STEFFENS, A. M. Y A.M. CAMPO DE FERRERAS. 2004. "Climatología". En Piccolo, M. C. y M. S. Hoffmeyer (eds.) *Ecosistema del estuario de Bahía Blanca*. 79-88. Instituto Argentino de Oceanografía, Bahía Blanca, Argentina.
- 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 Exploratorio de Hidrocarburos. (4): 243-246. Mendoza, Argentina.
- CARRICA, J., C. LEXOW Y R.E. ALBOUY, 2008. "Análisis de la recarga en un suelo con relleno artificial". IX Congreso de Hidrogeología Subterránea. Quito. Texto completo en CD.
- FAO, 1998. "Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements" - FAO Irrigation and drainage: paper 56. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 1998.
- FIDALGO, F., J. DE FRANCESCO Y R. PASCUAL. 1975. "Geología superficial de la llanura bonaerense". VI Congreso Geológico Argentino (Bahía Blanca). 104-128. Buenos Aires.
- FIDALGO, F. 1983. "Geología y Geomorfología del área de White-Cerri y los alrededores de bahía blanca". Comisión Estudio de Suelos White-Cerri. MOP de la provincia de buenos Aires.
- MUALEM, Y. 1976. "A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media". *Water Resources Research* 12(3):513-522.
- SCHAAP, M. G., LEIJ, F.J. AND VAN GENUCHTEN, M.TH., 2001. "Rosetta: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions", *Journal of Hydrology*, 251(3-4), 163-176, 2001.
- SCHERGER, L. 2017. "Aplicación del código Hydrus 2D/3D para el estudio de la hidrodinámica de la ZNS, en el ámbito industrial de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina". IV Congreso Internacional Científico y Tecnológico de la Prov. De Bs. As. Quilmes: 2017.
- SIMUNEK, J., M. SEJNA y M.TH. VAN GENUCHTEN. 2013. "The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media". Department of Environmental Sciences, University of California Riverside. Riverside, California.
- VAN GENUCHTEN, M. TH. 1980. "A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils". *Soil Science Society of American Journal*, 44 (3):892-898.