



**Encuentro
de JÓVENES
INVESTIGADORES**

ESTIMACIÓN DE LA RECARGA NATURAL AL SISTEMA ACUÍFERO EN EL ÁREA NORTE DE LA CIUDAD DE SANTA FE Torres, Zaira

*Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas-UNL
Director/a: D'Elia, Mónica*

Área: Ciencias Naturales

Palabras claves: Recarga natural, sistema acuífero, gestión del agua

INTRODUCCIÓN

La recarga natural de agua subterránea es el proceso por el cual el agua se infiltra desde la superficie del suelo, se mueve hacia el subsuelo y aumenta las reservas de agua subterránea. Es importante comprender el funcionamiento del sistema hídrico subterráneo para poder implementar prácticas de conservación del agua subterránea en cantidad y calidad y promover una gestión sostenible de este recurso vital. En este trabajo se presenta una contribución al conocimiento de la función de entrada al sistema acuífero que subyace a la ciudad de Santa Fe, Provincia de Santa Fe a través de la estimación de la recarga natural por medio de un balance hídrico.

OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo es evaluar la recarga natural del sistema acuífero en el área de la ciudad de Santa Fe con el fin de contribuir al conocimiento de su funcionamiento y de esa manera ayudar a la elaboración de pautas de manejo de los recursos hídricos de la ciudad.

Título del proyecto: Recarga de acuíferos en áreas urbanas. Origen e impactos en el agua subterránea en la ciudad de Santa Fe, Argentina.

Instrumento: CAI+D

Año convocatoria: 2020

Organismo financiador: UNL

Director/a: D'Elia, Mónica

Área de estudio

La zona de estudio se encuentra en el sector norte de la ciudad de Santa Fe, Provincia de Santa Fe, entre los 31°32' y 31°35' de latitud S y 60°42' y 60°39' de longitud O, entre las calles Av. Blas Pareras, Facundo Quiroga, Av. Gral. Paz y Av. José Gorriti, abarcando un área de 14,40 km² con una altitud aproximada de 19 msnm (Figura 1).

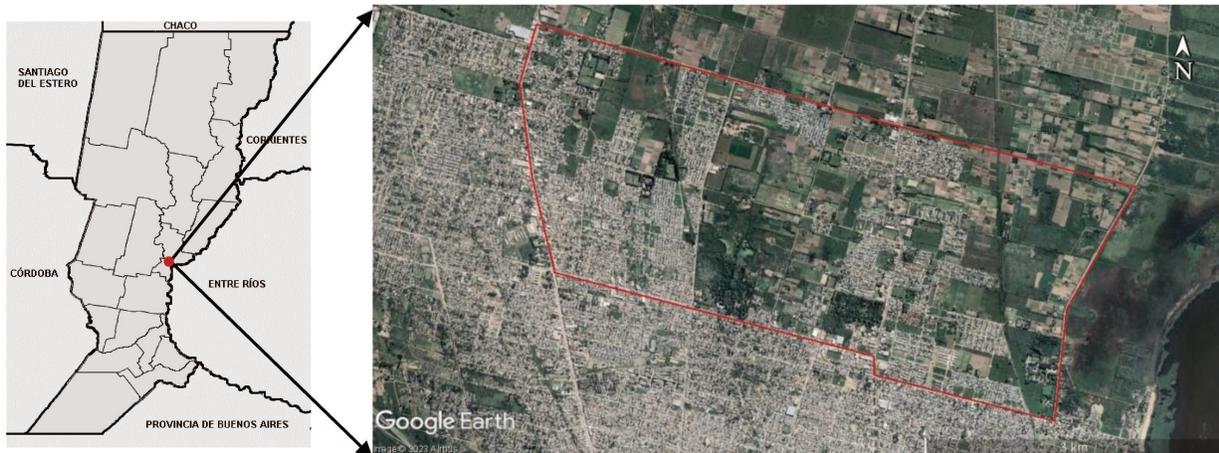


Figura 1-Zona en estudio. Google Earth (2023)

La ciudad de Santa Fe se encuentra ubicada en la región denominada Llanura Chaco-Pampeana entre los valles de inundación de los ríos Salado y Paraná. El clima es templado y húmedo, la temperatura media anual es del orden de los 19 °C (período 1920-2007). La precipitación media anual es de 1007 mm (período 1901-2007), con un valor máximo observado de 1825 mm en el año 1914 y un mínimo de 480 mm en el año 1910 (D'Elia et al., 2011).

La columna hidrogeológica en la zona está conformada por arcillitas limo-arenosas de origen marino, correspondiente a la Formación Paraná (Mioceno); un acuífero semiconfinado, compuesto por arenas finas y medianas, de origen fluvial pertenecientes a la Formación Ituzaingó/Arenas Puelches (Plio-Pleistoceno) y por último los sedimentos Pampeanos, de edad Cuaternaria, formado por limos y arcillas de origen eólico (D'Elia et al., 2011).

METODOLOGÍA

Para la elección del método de estimación de la recarga natural a los acuíferos, se tuvo en cuenta las características de la zona en estudio en cuanto al clima, relieve, suelos, datos disponibles, la escala espacio-temporal y el objetivo del trabajo.

En base a lo dicho anteriormente, se seleccionó el método de Balance de agua a nivel del suelo (Custodio y Llamas, 1983) que se basa en la aplicación del principio de conservación de masas el cual establece que para cualquier volumen arbitrario y durante un período de tiempo, la diferencia entre las entradas y salidas estará condicionada por la variación de agua almacenada. La ecuación de balance (1) utilizada para la subzona de evapotranspiración de la zona no saturada es:

$$P = ETR + EXC \pm \Delta S \quad (1)$$

Donde:

P= precipitación

EXC= excesos hídricos

ΔS =variación de almacenamiento

ETR= evapotranspiración real

ETP= evapotranspiración potencial

Cuando $\Delta S > 0$; $ETR = ETP$

Cuando $\Delta S < 0$ (hay déficit);

$ETR = ETP - \text{Déficit}$

Los excesos se pueden calcular como:

$$EXC = ESC + RT \quad (2)$$

Donde:

ESC= Esguerrimiento superficial

RT=recarga en tránsito

La recarga en tránsito (2) representa el agua que sale de la zona del suelo y percola en profundidad y que puede alcanzar la zona saturada y constituir la recarga al acuífero (Figura 2).

La información necesaria para aplicar el balance hídrico es: precipitación, evapotranspiración, esguerrimiento superficial y parámetros edáficos como la capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) para estimar agua utilizable por las plantas.

Se cuenta con información de precipitación, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento diarios para el período 2007-2021 proporcionados por el Centro de Informaciones Meteorológicas (CIM) perteneciente a la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH-UNL). Para estimar la ETP, se analizaron los métodos de Thornthwaite, Blaney-Criddle (Custodio y Llamas, 1983), Penman-Monteith FAO (FAO, 2006) y Hargreaves (Hargreaves, 1975), considerando la información disponible y las características del área de estudio. Para estimar el agua útil consumida por las plantas en la zona radicular, se estimaron CC y el PMP teniendo en cuenta el tipo de suelo, la densidad aparente y la profundidad radicular. Por otra parte, para estimar ESC se utilizó el Método de Curva Número (U.S. Soil Conservation Service, 1966) con la información del tipo de suelo en el área de estudio, su condición hidrológica y la condición de humedad antecedente obtenida de acumular la precipitación antecedente durante los 5 días anteriores; uso del territorio y cobertura vegetal. Cabe destacar que, del total del área de estudio (14,40 km²) el 27% corresponde a un área impermeabilizada (3,90 km²) y el 73% corresponde a un área sin impermeabilizar (10,50 km²).

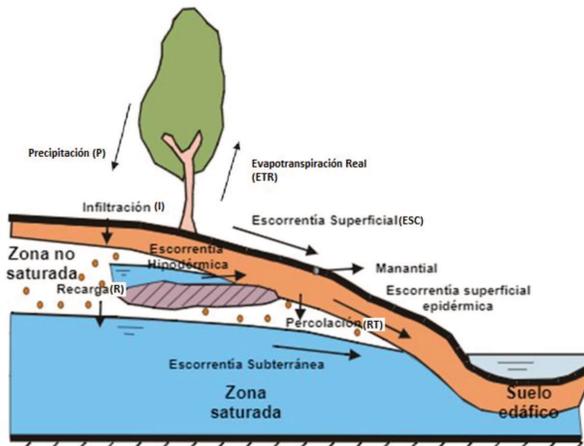


Figura 2-Esquema simplificado del balance hídrico

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se ha observado que los valores de ETP calculados con los métodos de Thornthwaite y Penman-Monteith FAO arrojan diferencias del orden $\leq 30\%$. Las mayores diferencias se observan en invierno donde el método de Penman-Monteith sobreestima la ETP en un porcentaje mayor al 100%, por el contrario, en verano el método de Thornthwaite sobreestima la ETP en un orden menor al 30%. Los métodos de Hargreaves y Blaney-Criddle sobreestiman los valores de ETP para todas las estaciones entre un 30 y 300% respecto de Thornthwaite, presentándose en invierno las mayores diferencias; por lo que estos dos últimos métodos no fueron considerados para continuar el análisis. A partir de los valores obtenidos y dado que las condiciones bajo las cuales se ha formulado el método son similares a las características de la zona en estudio, se han adoptado los resultados de ETP obtenidos por el método de Thornthwaite.

Con los valores de CC y PMP estimados para el suelo del área se calculó una lámina de agua útil de 100mm. Como resultado de la aplicación del balance hídrico en la zona del suelo, se

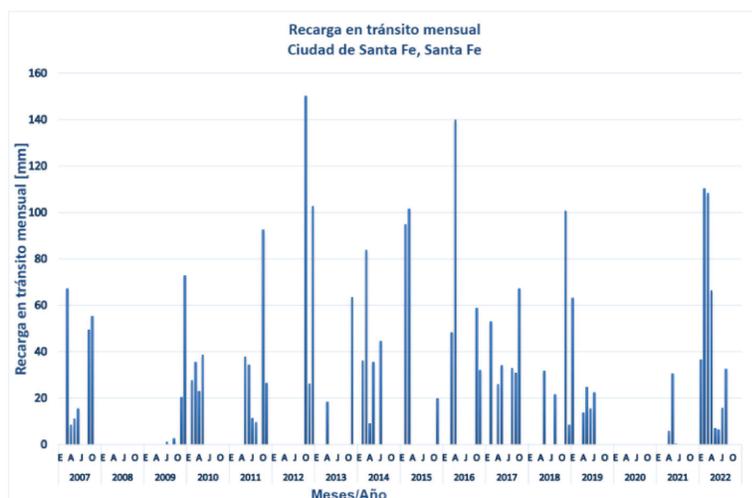


Figura 3- Recarga en tránsito mensual

obtuvieron los excesos hídricos, a los cuales se les descontaron los valores de ESC obtenidos por el método de CN para obtener la RT. En la Figura 3 se presenta un gráfico de la distribución de la recarga en tránsito mensual calculada para la totalidad de la serie de años en estudio; en ella se destaca que los meses con mayor recarga se produjeron en octubre, con un máximo de 150 mm y en marzo con un valor máximo de 101,5 mm. De esta manera se pudieron identificar períodos de recarga que varían de 1 a 4 meses

con un valor mínimo de 37 mm y un máximo de 279 mm, observándose que los períodos más extensos se dan en las estaciones de otoño (abril) y los más cortos en primavera (octubre). Por

Tabla 1- Recarga en tránsito y precipitación anual

año	Panual [mm]	Rt anual [mm]	Rt anual/P anual [%]
2007	1391.10	206.66	15
2008	670.10	0.00	0
2009	1211.40	97.01	8
2010	1098.40	124.54	11
2011	1195.40	211.72	18
2012	1407.20	278.90	20
2013	985.90	81.85	8
2014	1191.10	208.60	18
2015	1239.60	216.12	17
2016	1495.75	278.86	19
2017	1155.35	243.03	21
2018	1022.00	162.46	16
2019	1161.00	138.93	12
2020	711.00	0.00	0
2021	972.50	36.71	4
promedio	1127.19	152.36	12

último, en la Tabla 1 se presentan los resultados de la recarga anual donde se puede observar que, para el período de análisis, se produjo, en promedio, una recarga de 152 mm y que representa el 12% del promedio anual de la precipitación para el mismo período.

Es importante destacar que la evaluación de la recarga es compleja ya que se deben hacer estimaciones de los diferentes componentes del balance de agua lo que, juntamente con la falta de datos hidrológicos, la heterogeneidad del suelo, los cambios en el uso del suelo y la vegetación, entre otros, introducen incertidumbres. Sin embargo, la utilización del método de balance hídrico es una primera aproximación para estimar la recarga al acuífero que contribuirá a la elaboración de pautas de manejo de los recursos hídricos de la ciudad. Se recomienda la utilización de otras metodologías para así comparar y ajustar los resultados obtenidos.

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

Custodio, E. y Llamas. M. R. 1983. Hidrología Subterránea. Tomo I. Ed. Omega, Barcelona España.

D'Elia, M. P. 2011. Agua subterránea en áreas urbanas. VII Congreso Argentino de hidrogeología y V Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de la hidrología subterránea (págs. 46-53). Salta, Argentina: Asociación Civil Grupo Argentino de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos.

FAO. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Publicación N° 56 de la Serie Riego y Drenaje. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 298pp.

Hargreaves, G. H. and Samani, Z. A. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied engineering in agriculture, 1, 96-99. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.26773>

Bureau of reclamation. 1973. Diseño de pequeñas presas. United states department of interior – Bureau of reclamation. Compañía editorial continental S.A., México, 639pp.