



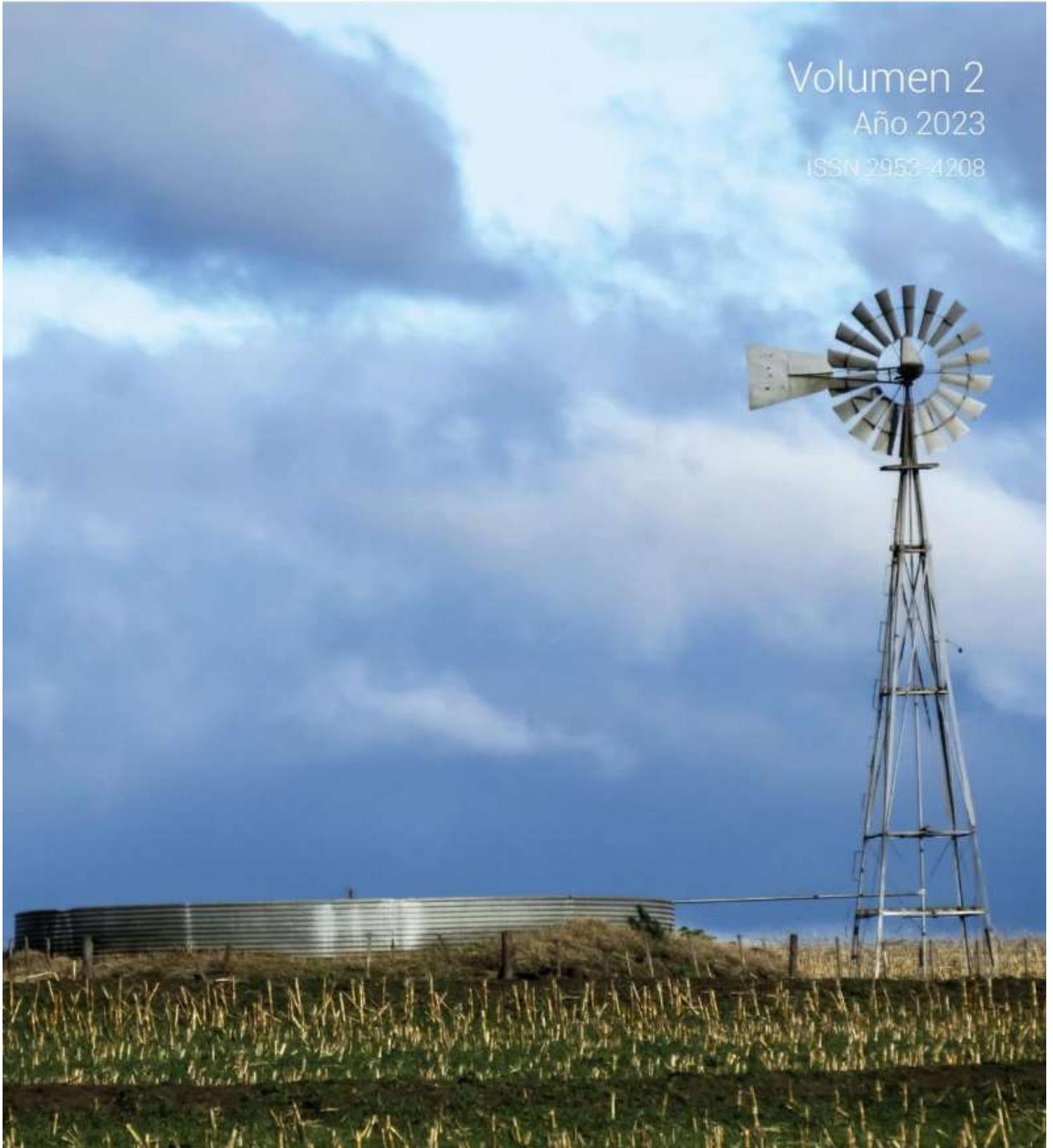
# Estimación de la recarga de agua subterránea

**RAHi**  
REVISTA ARGENTINA DE HIDROGEOLOGÍA

Volumen 2

Año 2023

ISSN 2953-4208



## REVISTA ARGENTINA DE HIDROGEOLOGÍA

### CUERPO EDITORIAL

#### Editor responsable

*Dr. Lic. Roberto Esteban Miguel*

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

[revista.argentina.hidrogeologia@gmail.com](mailto:revista.argentina.hidrogeologia@gmail.com)

#### Editora asociada

*Dra. Lic. Corina Iris Rodríguez*

Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

[corodri@fch.unicen.edu.ar](mailto:corodri@fch.unicen.edu.ar)

#### Comité editor

Dr. Geól. Carlos Juan Schulz

Universidad Nacional de La Pampa

Dr. Geól. Daniel Emilio Martínez

Universidad Nacional de Mar del Plata

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y  
Técnicas

Dra. Geól. María Verónica Rocha Fasola

Universidad Nacional de Salta

#### Agradecimientos

Desde el comité editor se agradece la colaboración desinteresada como integrantes del comité científico al *Dr. Lic. Leandro Rodríguez Capitulo* (Universidad Nacional de La Plata y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas), *Dr. Lic. Eduardo Kruse* (Universidad Nacional de La Plata y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas), *Dr. Geof. Santiago Perdomo* (Universidad Nacional Del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas), *Dra. Lic. Corina Iris Rodríguez* (Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas), *Dr. Geól. Esteban Tálamo* (Universidad Nacional de Catamarca), *Dra. Lic. Edel Mara Matteoda* (Universidad Nacional de Río Cuarto), *Dra. Lic. Cristina Dapeña* (Universidad de Buenos Aires y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas) y *Dra. Geól. María Verónica Rocha Fasola* (Universidad Nacional de Salta).

A las empresas *CONHIDRO* y *ANDINA PERFORACIONES*, quienes financiaron el diseño del logo, manual de marca y diseño de tapa de la Revista Argentina de Hidrogeología.

## ÍNDICE

<b>Prólogo</b> <i>Dr. Roberto Esteban Miguel</i>	<i>Pág. 7-8</i>
<b>Revisión de métodos de estimación de la recarga en sistemas hidrogeológicos pampeanos</b> <i>Christian Montagna, Natalia Loyola, Lorena Ceballo, Pedro Di Liscia, Carlos Gandi y Eduardo Mariño</i>	<i>Pág. 9-20</i>
<b>Recarga a los acuíferos en áreas de llanura húmeda del centro de la provincia de Santa Fe, Argentina</b> <i>Mónica Patricia D'Elia, Marta del Carmen Paris y Marcela Alejandra Pérez</i>	<i>Pág. 20-44</i>
<b>Tendencias de recarga del Acuífero Pampeano en la Llanura Interserrana bonaerense: un análisis de 17 años</b> <i>Orlando Mauricio Quiroz Londoño, Jesús David Gómez, Daniel Emilio Martínez</i>	<i>Pág. 45-57</i>
<b>Contexto regional y local de recarga de acuíferos en la planicie fluvio-eólica de Marcos Juárez</b> <i>Daniela Beatriz Giacobone, Mónica Blarasin, Edel Matteoda, German Schroeter, Fátima Becher Quinodoz; Verónica Lutri y Adriana Cabrera</i>	<i>Pág. 58-80</i>

**TENDENCIAS DE RECARGA DEL ACUÍFERO PAMPEANO EN LA  
LLANURA INTERSERRANA BONAERENSE:  
UN ANÁLISIS DE 17 AÑOS**

**RECHARGE TRENDS OF THE PAMPEAN AQUIFER IN THE  
INTERSERRANA PLAIN OF BUENOS AIRES:  
A 17-YEAR ANALYSIS**

*Orlando Mauricio Quiroz Londoño<sup>1,2</sup>, Jesús David Gomez<sup>1</sup>, Daniel Emilio Martínez<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario, Universidad Nacional de Mar del Plata-Comisión de Investigaciones Científicas Bs. As. Funes 3350. Mar del Plata, Argentina.

<sup>2</sup> Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMyC), Universidad Nacional de Mar del Plata-CONICET. Funes 3350. Mar del Plata, Argentina

Autor de correspondencia: [orquiroz@gmail.com](mailto:orquiroz@gmail.com) – [glondono@mdp.edu.ar](mailto:glondono@mdp.edu.ar)

## **RESUMEN**

Las actividades socioeconómicas que se desarrollan en la llanura interserrana bonaerense tienen una marcada dependencia del recurso hídrico subterráneo, el cual se ha constituido en la principal fuente de agua disponible para la región. Su gestión requiere, entre otras cosas, conocer las tasas de recarga del acuífero. En este documento se evalúa la información generada a través de la medición continua de niveles freáticos en los últimos 17 años, con especial interés en la determinación del porcentaje de la lluvia que alcanza el acuífero. Para esto se utilizó el método de Variación de Nivel Freático, el cual para su aplicación requiere de valores de coeficiente de almacenamiento específico. Para la elaboración de este trabajo se llevó a cabo una revisión bibliográfica de los valores reportados en la literatura científica, los cuales varían entre el 9% y el 35%, dependiendo de la metodología implementada. Los valores de recarga encontrados en el presente estudio variaron entre 7% y 19% de la precipitación, con predominancia de procesos de recarga en las estaciones de invierno y primavera. Adicionalmente se pudo establecer una dinámica similar en la respuesta del acuífero ante la precipitación y se observó cómo eventos hidroclimatológicos extremos impactan en el recurso hídrico subterráneo.

**Palabras claves:** nivel freático, recarga, Acuífero Pampeano, variación del nivel freático

## **ABSTRACT**

The socioeconomic activities carried out in the intermountain plain of Buenos Aires show a marked dependence on groundwater resources, which have become the region's primary source of available drinking water. The management of this resource requires, among other things, understanding the aquifer recharge rates. This document assesses the information generated through continuous groundwater level measurements over the past two decades, with a particular focus on determining the percentage of rainfall that reaches the aquifer. The water table fluctuation method was used for this purpose, which, for its application, requires specific storage coefficient values. To prepare this work, a bibliographic review of values reported in the scientific literature was conducted, which varied between 9% and 35% depending on the implemented methodology. The recharge values found in this study ranged from 7% to 19% of precipitation, with a predominance of recharge processes in the winter and spring seasons. Additionally, a similar dynamic in the aquifer's response to precipitation was identified, and it was observed how extreme hydroclimatological events can directly impact the groundwater resource.

**Keywords:** water table variation, recharge, Pampean Aquifer, water table

## INTRODUCCIÓN

La importancia de los acuíferos como bases fundamentales de la sostenibilidad socioeconómica y ambiental lo largo del mundo es innegable. En un escenario en el cual las aguas subterráneas representan más del 98% de agua dulce del planeta, desempeñan un papel central en el abastecimiento de más del 70% de las necesidades de riego y el 90% del consumo de agua a nivel mundial (Kimberly, 2012; Siebert et al., 2010). EL manejo eficiente de este recurso se ha vuelto crucial ante desafíos como la contaminación y el aprovechamiento intensivo, los cuales son potenciados, especialmente por el crecimiento demográfico y las altas demandas en los sectores agrícola, minero e industrial (Bhattacharya y Bundschuh, 2015; Pu et al., 2013). En este marco, los acuíferos no solo enfrentan riesgos relacionados con la actividad humana, sino que también pueden ser impactados directa e indirectamente por el cambio climático y su variabilidad natural.

La Llanura Interserrana Bonaerense, es una vasta región argentina caracterizada por una intensa actividad agropecuaria, que es favorecida por sus condiciones geológicas y climatológicas. En esta región, las actividades agrícolas, ganaderas y la sostenibilidad hídrica se encuentran entrelazadas, estableciendo, debido a la escasez de recursos hídricos superficiales, una marcada dependencia al acuífero freático como principal fuente de abastecimiento (Campo De Ferreras y Piccolo, 2002; Kruse, 1993; Kruse et al., 1998).

Uno de los desafíos principales en la gestión del recurso hídrico subterráneo en entornos de este tipo, reside en la determinación de las tasas de recarga. Dicha variable se encuentra entre los elementos más complejos de cuantificar dentro del balance hídrico (Cook y Kilty, 1992; Jackson y Rushton, 1987; Stephens y Knowlton Jr, 1986; Stone et al., 2001), requiriendo de la aplicación de varios métodos, lo cual permite minimizar la incertidumbre en su cuantificación. La elección de métodos específicos para calcular la recarga depende de factores tales como la escala temporal y espacial (Scanlon et al., 2002). Así, la estimación de la recarga es un requerimiento esencial para la planificación del uso eficiente de los recursos hídricos, previniendo la sobreexplotación e impactos ambientales adversos.

El objetivo de este artículo es la estimación de la recarga al acuífero Pampeano mediante la metodología de Variación del Nivel Freático (WTF, por sus siglas en inglés) (Healy y Cook, 2002). Para ello, se emplearon tres series temporales de niveles que abarcan los últimos 17 años. El análisis de las oscilaciones en el nivel freático de acuíferos superficiales resulta esencial para comprender la respuesta del acuífero a los diversos procesos naturales de recarga y descarga. El método de WTF, se considera una herramienta clásica para evaluar cómo los acuíferos poco profundos responden a la precipitación. Sin embargo, su aplicación presenta un desafío significativo en la estimación del coeficiente de almacenamiento específico ( $S_y$ ) del acuífero a la profundidad donde se produce la fluctuación en el nivel freático.

Entre los trabajos para la zona que han utilizado esta metodología se encuentran los realizados por Ferreira et al. (2009); Marcovecchio y Varni (2020); Merlo et al. (2011); Quiroz Londoño et al. (2012a); Quiroz Londoño et al. (2012b); Varni (2013); Varni et al. (2013); Venecio y Varni (2003); Zandrea (2022), cuyas estimaciones de recarga y porosidad eficaz son utilizados como referente en el presente documento.

### Área de estudio

Las series temporales analizadas en este documento se encuentran dentro de la Cuenca del Río Quequén Grande (CRQG) (Figura 1). Esta cuenca es una de las más importantes de la región por productividad. Con una extensión de casi 10000 km<sup>2</sup>, en

ella se desarrollan principalmente actividades agropecuarias, ubicándose en su desembocadura al Océano Atlántico uno de los mayores puertos exportadores nacionales. Geográficamente, la CRQG se encuentra ubicada en la cuenca sedimentaria de Claromecó, entre los sistemas serranos de Ventania y Tandilia, siendo el sector sur de esta última el área de recarga preferencial de la cuenca (Kruse, 1986) (Figura 1). Dichos elementos estructurales positivos están formados por rocas ígneo-metamórficas de origen Precámbrico y sedimentitas paleozoicas, mientras que en la llanura se desarrolla una cubierta cenozoica de sedimentos principalmente limosos y limo-arcillosos intercalados por delgadas capas de arena que se acumularon durante el Plioceno-Pleistoceno-Holoceno. Desde el punto de vista hidrogeológico, la cubierta cenozoica conforma el acuífero Pampeano (Santa Cruz y Busso, 1999), el cual se apoya sobre las sedimentitas paleozoicas que constituyen el basamento hidrogeológico del área (Llambías y Prozzi, 1975). Esta cuenca hace parte de la región Interserrana serrana-periserrana definida por González (2005), conteniendo la principal fuente de abastecimiento de agua para la región. El acuífero, somero y de tipo libre, actúa al mismo tiempo como fuente de recarga de humedales y presenta gran injerencia sobre arroyos y ríos, en su mayoría con comportamiento efluente a lo largo de su recorrido (Kruse et al., 1997; Quiroz Londoño et al., 2008; Quiroz Londoño et al., 2009). En lo que se refiere al flujo de agua subterránea, éste se muestra generalmente alineado con el drenaje superficial (Bocanegra et al., 2005; Quiroz Londoño et al., 2015)

Desde una perspectiva climática, la región es catalogada como subhúmeda seca, caracterizada por tener un ligero déficit o exceso de agua en términos agronómicos durante los meses de verano. Siguiendo la clasificación de Thornthwaite (1948), el clima se identifica como mesotermal "B2". Los registros pluviométricos anuales varían entre 698 y 1,289 mm/año en los últimos 20 años, con un promedio de 907 mm/año. Los valores más significativos de precipitación se observan entre los meses de septiembre y marzo.

## **METODOLOGÍA**

En este trabajo se ha utilizado el Método de Variación de Nivel Freático (VNF o WTF, por su sigla en inglés) para el cálculo de la recarga. Este método sencillo y fácil de aplicar, está basado en mediciones continuas de nivel freático, solo es aplicable en acuíferos libres poco profundos. Se basa en asumir que los aumentos del nivel freático se deben a la recarga de agua que llega al nivel freático (Scanlon Healy y Cook, 2002). Para su aplicación requiere de un registro del nivel freático continuo y una estimación del coeficiente de almacenamiento específico ( $S_y$ ) de la zona de oscilación de la freática (Healy y Cook, 2002). Existen dos desafíos importantes a la hora de aplicar este método, el primero es evitar evaluar variaciones no naturales en el nivel del acuífero, es decir reconocer fluctuaciones debidas a recarga y descarga del acuífero, bombeos, fluctuaciones barométricas entre otros. Para reconocer esto, un análisis detallado de los registros suele permitir la identificación precisa de las fuentes de variación en los niveles freáticos (Varni, 2013).

El segundo aspecto, aún más desafiante, es determinar el valor del almacenamiento específico, el cual se refiere a la diferencia entre la porosidad total y la capacidad de campo, representando el almacenamiento en los poros donde el flujo de agua es gobernado por la gravedad. Existen varias formas de evaluar este parámetro, desde pruebas de bombeo (Villanueva y Iglesias, 1984), hasta métodos gráficos (Crosbie et al., 2005). Para este artículo se realizó una recopilación de los valores de coeficiente de almacenamiento obtenido por diferentes autores en regiones

donde se ha evaluado el acuífero pampeano mediante diferentes técnicas. Con estos valores se ha estimado un rango de recarga el acuífero.

La recarga, utilizando el Método de Variación de Nivel Freático se calcula como:

$$R_{(tj)} = S_y DH_{(tj)}$$

Dónde:  $R_{(tj)}$  es la recarga ocurrida entre los tiempos  $t_0$  y  $t_j$  (tiempos al inicio y al pico del ascenso de nivel, respectivamente);  $S_y$  es el coeficiente de almacenamiento específico (adimensional), y  $DH_{(tj)}$  es el ascenso del nivel freático hasta el pico atribuido a la recarga.

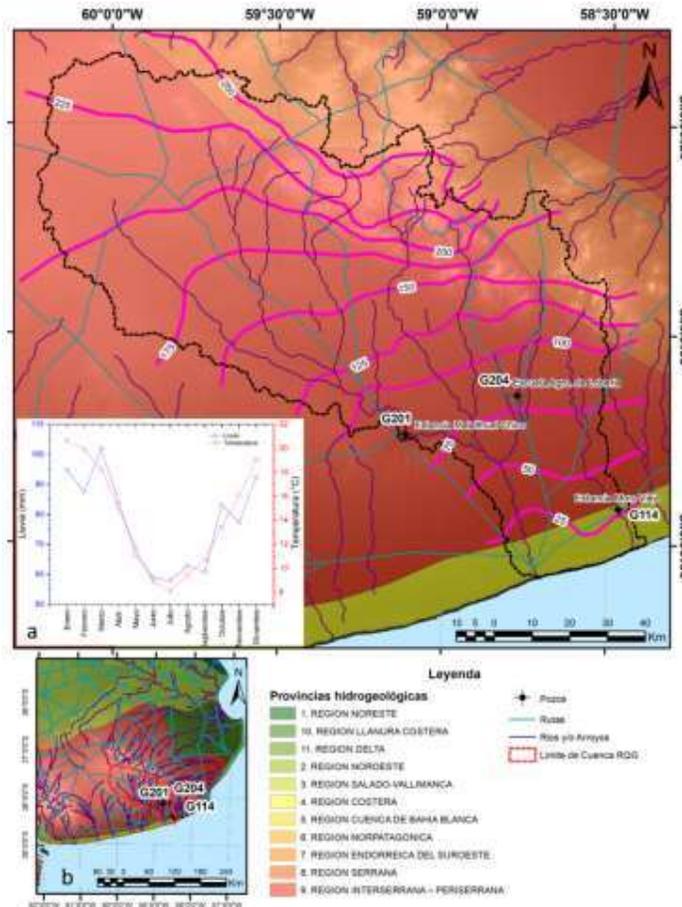


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio. incluyendo Ubicación de freatómetros y estaciones pluviométricas utilizadas. (a) Variación mensual promedio de temperatura y precipitación a escala regional (b) Regiones hidrogeológicas de la provincia de Buenos Aires.

Los pozos elegidos para este análisis, identificados con los códigos G114, G201 y G204, están situados en la región intermedia y baja de la CRQG (Figura 1), siendo representativos de la variabilidad hidrogeológica en esta zona. Dichos pozos son freatómetros que no se utilizan como puntos de extracción y, además, están distantes de los pozos de suministro de agua. Los valores de nivel freático han sido medidos en los últimos 17 años cada 4 horas en cada uno de los pozos analizados, utilizando para esto equipos Limnígrafo - Freatógrafo LF-325 de la Marca Genica, los cuales almacenan el valor de nivel de columna de agua captado por un sensor de presión piezorresistivo de alta resolución.

Los datos obtenidos han sido promediados para obtener valores mensuales medios de nivel freático. Los hidrogramas resultantes han sido analizados utilizando hojas electrónicas convencionales. Para esto, de forma manual se han establecidos periodos de descenso de nivel freático, tomando como límite inferior de este descenso 3 meses consecutivos. Con dichos valores se han establecidos curvas de recesión de tipo exponencial, la cual se extiende hasta el siguiente pico máximo de ascenso de nivel freático, obteniendo entonces la diferencia entre el nivel medido y el nivel estimado usando la ecuación de la curva de recesión anteriormente calculada. Dicha diferencia ha sido tomada como el valor de  $DH_{(ij)}$ .

Utilizando como punto de partida los valores de coeficientes de almacenamiento recopilados en la bibliografía y los valores de aumento de nivel freático, se estimó la recarga en todo el periodo de tiempo analizado. Se utilizarán valores de coeficiente de almacenamiento máximos, mínimos y promedios como puntos de referencia, buscando así establecer un rango de posibles valores de recarga del acuífero pampeano en la CRQG. Los datos de precipitación han sido obtenidos de productores locales comprometidos históricamente con el registro diario de datos hidrometeorológicos utilizados como insumos en sus actividades diarias. Las precipitaciones han sido medidas en la estancia Malathuel Chico, Escuela agraria de Lobería y estancia Moro Viejo (Figura 1).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis de información antecedente

Los documentos recopilados abarcan diversas metodologías que apuntan a la cuantificación de este parámetro mediante múltiples metodologías, variando desde la asociación de respuesta de precipitación al incremento de nivel freático (Varni, 2013; Varni et al., 2013), hasta ensayos de transporte en columnas (Mascioli et al., 2005), arrojando así una amplia gama de valores que se sintetizan en la Tabla 1.

Tabla 1. Datos de Coeficiente de almacenamiento específico y recargas calculadas por diversos autores.

Autores	Almacenamiento específico $S_y$ (%)	Recarga (%)
Weinzettel et al. (2005)	7	9.8 - 28.5
Varni (2013)	7 - 9	10 - 20
Carretero et al. (2013)	10	--
Pendiuk et al. (2017)	18	--
Scioli et al. (2013)	10,8	--
MascioliBenavente y Martínez (2005)	35 - 39	--
Guarracino y Tocho (2013)	18	--
Quiroz-Londoño et al. (2012)	9.9 - 13.6	14.4 - 18.7
Quiroz Londoño et al. (2012c)	10	9 - 21
Varni et al. (2013)	7 - 9	14 - 18
Varni (2013)	9 - 7	21.7 - 16.9
Silva Busso y Santa Cruz (2005)	10	--

Los valores máximos (entre 35 y 39%) estimados por los últimos autores mencionados no fueron considerados, dado que dichos valores no concuerdan con las características sedimentológicas del acuífero Pampeano. En su investigación, los mismos autores indican que el valor de porosidad fue ajustado numéricamente en un experimento de transporte para reflejar la porosidad dentro de la columna en estudio.

Sin embargo, advierten que este ajuste no puede extrapolarse a condiciones de campo debido a que las columnas no constituyen un volumen elemental representativo (Domenico y Schwartz, 1990). Los autores señalan, entre las razones más relevantes, que la medición de la porosidad en una muestra pequeña puede ser modificada por diversas razones, como la presencia de espacios en la parte inferior de las columnas clavadas en el suelo y la existencia de macroporos y escurrimiento preferencial.

### **Análisis de oscilaciones de nivel y estimación de la recarga**

Al estudiar las oscilaciones en los niveles de agua registrados en estos pozos, se pone de manifiesto un patrón consistente a lo largo del tiempo (Figura 2). Este patrón, es evidentemente controlado por la variabilidad de las precipitaciones, pudiendo tomarse como un indicador de la respuesta del acuífero a las variaciones climáticas. Es así como los últimos tres años de monitoreo, afectados por un fenómeno de sequía, asimilable a una Niña, los niveles freáticos se han acercado a los niveles mínimos históricos con poca o nula evidencia de recarga. Esta correlación ya ha sido establecida por del Valle Venencio y García (2011) para el acuífero freático en la provincia de Santa Fe.

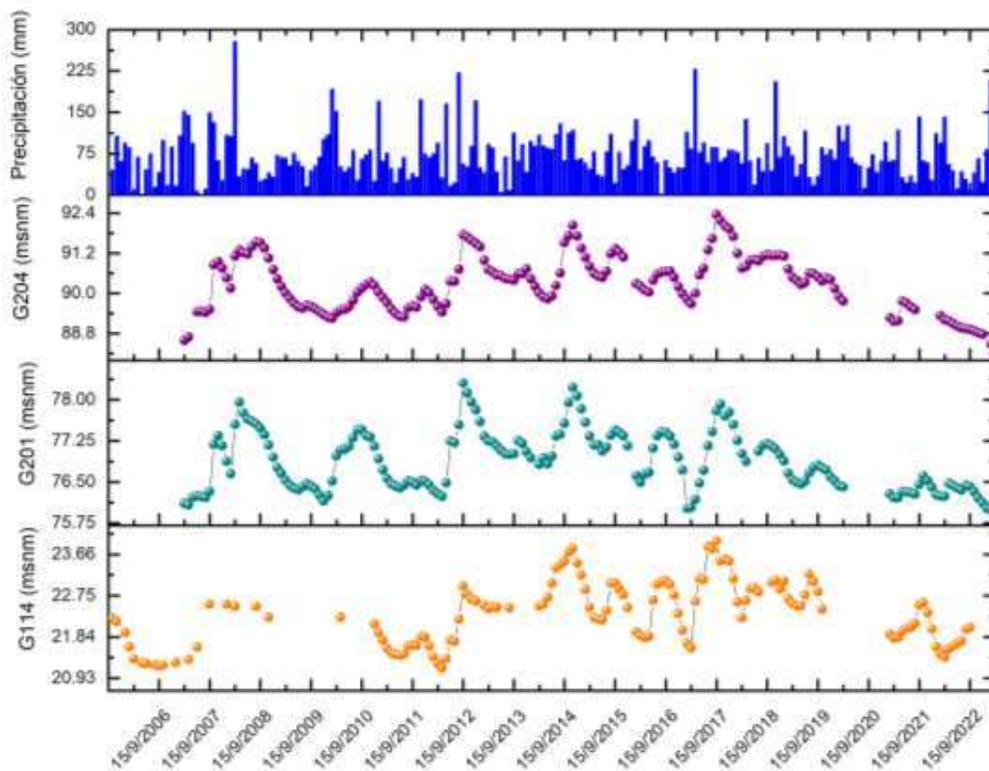


Figura 2. Variación de niveles freáticos y precipitación media para el sudoeste de la provincia de Buenos Aires.

La variación máxima definida a lo largo del periodo de observación fue de 2.79 m, 2.31 m y 3.94 m para los pozos G114, G201 y G204 respectivamente. Los resultados reportados en las tablas 2, 3 y 4 indican que para los coeficientes de almacenamiento de  $S_y=0.07$ ,  $S_y=0.125$  y  $S_y=0.2$ , se obtienen valores de recarga anual para el pozo G114 de 6%, 11%, 18%, de la precipitación anual, respectivamente. Para el pozo G201, dichos valores alcanzan valores de 6%, 11%, 17% y para el pozo G204, dichos valores son de 8%, 14% y 22% respectivamente.

Estos resultados son congruentes y se encuentran dentro del rango reportado en los diferentes estudios realizados sobre el acuífero pampeano utilizando diversas metodologías (Quiroz Londoño, 2012b; Varni, 2013).

Tabla 2. Datos de Recarga Pozo G114 con valores de coeficiente de almacenamiento específico  $S_y$  tomados de la literatura

Pozo	Precip. (mm)	año	Recarga (mm)			Porcentaje de lluvia (%)		
			Menor $S_y = 0,07$	Promedio $S_y = 0,125$	Mayor $S_y = 0,20$	Menor $S_y = 0,07$	Promedio $S_y = 0,125$	Mayor $S_y = 0,20$
G114	761	2007	95	170	270	12%	22%	35%
	731	2008	0	0	0	0%	0%	0%
	747	2009	0	0	0	0%	0%	0%
	846	2010	0	0	0	0%	0%	0%
	902	2011	29	53	84	3%	6%	9%
	936	2012	128	231	367	14%	25%	39%
	711	2013	3	6	9	0%	1%	1%
	1254	2014	91	205	325	7%	16%	26%
	794	2015	57	102	163	7%	13%	20%
	856	2016	88	158	251	10%	18%	29%
	1089	2017	173	312	495	16%	29%	45%
	890	2018	64	115	183	7%	13%	21%
	989	2019	61	110	175	6%	11%	18%
	918	2020	0	0	0	0%	0%	0%
	708	2021	55	99	157	8%	14%	22%
	625	2022	46	82	130	7%	13%	21%

Tabla 3. Datos de Recarga Pozo G201 con valores de coeficiente de almacenamiento específico  $S_y$  tomados de la literatura

Pozo	Precip. (mm)	año	Recarga (mm)			Porcentaje de lluvia (%)		
			Menor $S_y = 0,07$	Promedio $S_y = 0,125$	Mayor $S_y = 0,20$	Menor $S_y = 0,07$	Promedio $S_y = 0,125$	Mayor $S_y = 0,20$
G201	872	2007	90	163	258	10%	19%	30%
	991	2008	91	164	261	9%	17%	26%
	737	2009	8	14	22	1%	2%	3%
	1115	2010	91	164	260	8%	15%	23%
	720	2011	15	27	43	2%	4%	6%
	1006	2012	124	224	355	12%	22%	35%
	619	2013	18	32	51	3%	5%	8%
	1105	2014	106	192	304	10%	17%	28%
	619	2015	27	49	78	4%	8%	13%
	744	2016	65	116	184	9%	16%	25%
	1041	2017	137	247	392	13%	24%	38%
	747	2018	23	41	65	3%	5%	9%
	718	2019	25	44	71	3%	6%	10%
	720	2020	0	0	0	0%	0%	0%
	724	2021	32	57	91	4%	8%	13%
	643	2022	22	40	64	3%	6%	10%

Un análisis visual comparativo a lo largo de toda la serie de datos se muestra en las Figuras 3, 4 y 5. En estos gráficos se ha incluido la recarga media obtenida utilizando valores de  $S_y=0.125$ , en ellos se puede observar una clara correlación entre los períodos de aumento de los niveles con los períodos de precipitación. Aspecto congruente con la metodología aplicada en este documento, ya la misma asume que

la recarga se debe a procesos de precipitación y se realiza de manera instantánea y/o directa. Es de suma importancia considerar que los resultados acumulados indican que los meses en los que se observa una mayor recarga en el acuífero pampeano, en la CRQG, corresponden a los meses comprendidos entre marzo y septiembre, es decir periodos de otoño e invierno. Esto es coherente con los balances hídricos a nivel edáfico realizados en la zona (Quiroz Londoño 2012c; Solana, 2020), donde los meses con déficit hídrico son identificados durante el verano.

Tabla 4. Datos de Recarga Pozo G204 con valores de coeficiente de almacenamiento específico  $S_y$  tomados de la literatura

Pozo	Precip. (mm)	año	Recarga			Porcentaje de lluvia (%)		
			Menor $S_y = 0.07$	Promedio $S_y = 0.125$	Mayor $S_y = 0.20$	Menor $S_y = 0.07$	Promedio $S_y = 0.125$	Mayor $S_y = 0.20$
G204	1082	2007	168	302	479	15%	28%	44%
	893	2008	106	190	302	12%	21%	34%
	709	2009	6	11	18	1%	2%	3%
	884	2010	76	137	217	9%	15%	25%
	902	2011	61	110	175	7%	12%	19%
	1179	2012	162	291	462	14%	25%	39%
	765	2013	24	43	68	3%	6%	9%
	1077	2014	154	278	441	14%	26%	41%
	796	2016	44	79	126	6%	10%	16%
	672	2017	188	338	536	28%	50%	80%
	1223	2018	32	58	93	3%	5%	8%
	674	2019	31	55	88	5%	8%	13%
	847	2020	0	0	0	0%	0%	0%
	781	2021	43	77	122	5%	10%	16%
	736	2022	0	0	0	0%	0%	0%
	954	2023	23	42	66	2%	4%	7%

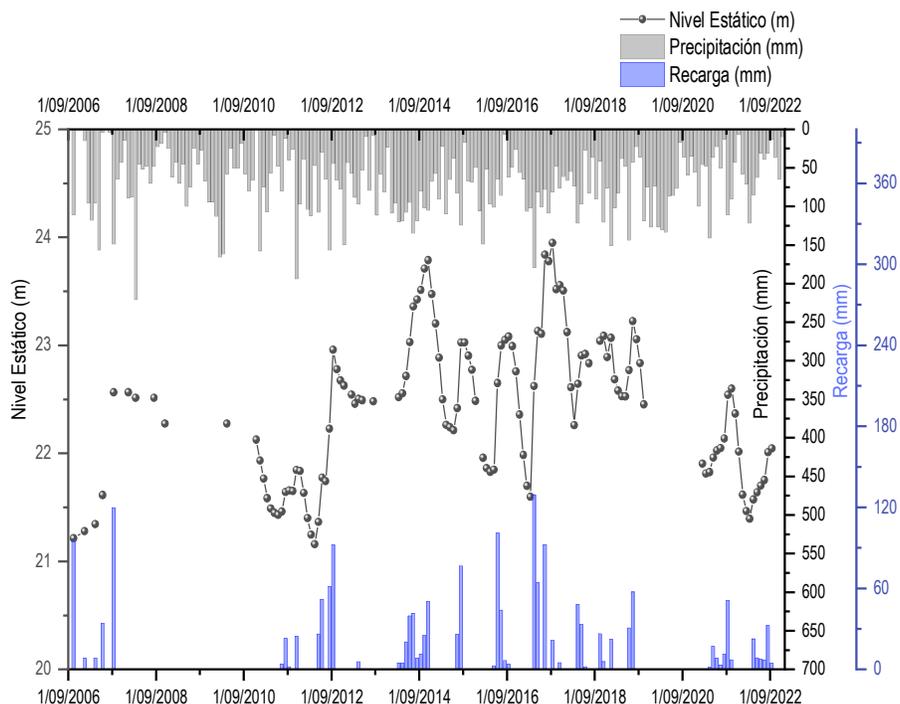


Figura 3. Comportamiento de la recarga promedio respecto a las precipitaciones y el nivel estático del pozo G114

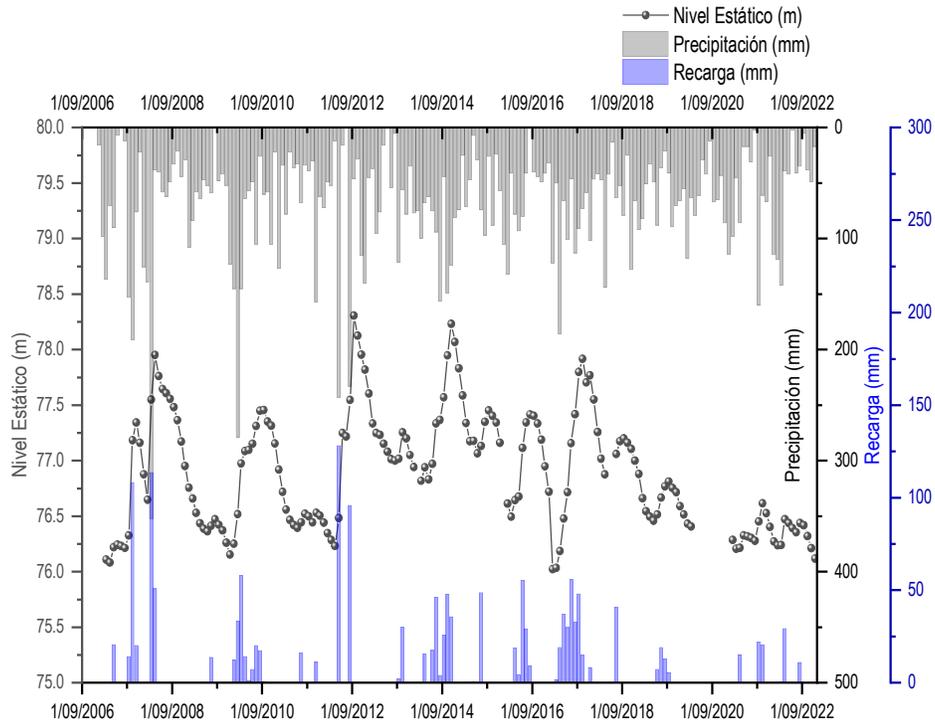


Figura 4. Comportamiento de la recarga promedio respecto a las precipitaciones y el nivel estático del pozo G201

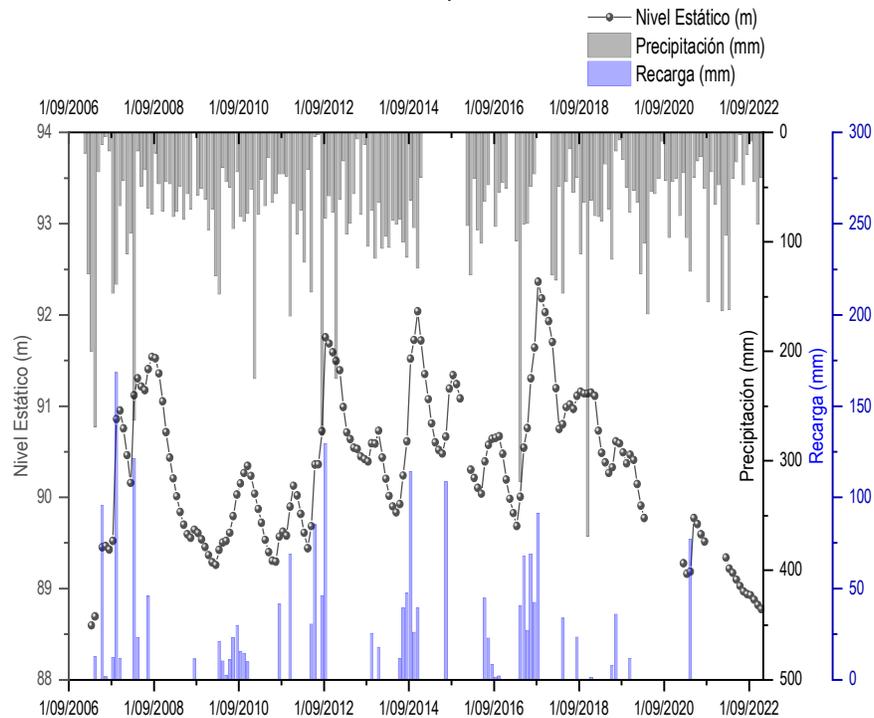


Figura 5. Comportamiento de la recarga promedio respecto a las precipitaciones y el nivel estático del pozo G204

La respuesta rápida del nivel freático en el acuífero pampeano ante eventos de recarga se debe a varios factores, como explican Weinzettel (2005) y Mathias et al. (2005). Estos factores incluyen la presencia de vías preferenciales de flujo y el proceso de flujo pistón que ocurre en la matriz porosa de la zona no saturada. Dichos autores destacan que el agua que llega al nivel freático no es la que acaba de infiltrarse en ese momento; en realidad, es el agua preexistente en los poros que es desplazada por el agua entrante. Dicho desplazamiento es más evidente cuando el suelo se encuentra en capacidad de campo. Por lo tanto, el agua nueva no necesita recorrer todo el trayecto desde la superficie del terreno hasta el nivel freático para observar un aumento en este nivel. Este fenómeno da como resultado que cuando los pulsos de agua sean difíciles de seguir con trazadores y sean atenuados, dando como resultado por ejemplo, una marca isotópica en el acuífero similar al promedio ponderado de la lluvia (Martínez et al., 2016).

## **CONCLUSIONES**

En este documento, se realizó un análisis de la variación temporal de la recarga en el acuífero pampeano dentro de la cuenca del Río Quequén Grande, considerando los datos de los últimos 17 años utilizando la metodología de Variación del Nivel Freático. Tras examinar los valores del coeficiente de almacenamiento en relación a las alturas definidas en diferentes eventos de recarga, se concluye que los valores que superan el 25% en este parámetro resultan incoherentes con las características granulométricas y texturales de los sedimentos que caracterizan el acuífero. Además, cuando se utilizan valores de coeficiente de almacenamiento por encima de este umbral, se obtiene una recarga que se asemeja a la precipitación total, lo cual no concuerda con los modelos hidrogeológicos conceptuales y matemáticos establecidos para la zona. Lo anterior, podría llevar a una subestimación de la evapotranspiración.

Las respuestas de los niveles freáticos en los pozos analizados exhiben un patrón de comportamiento consistente, lo que sugiere que se puede considerar un indicador general de la dinámica del acuífero frente a la recarga. En este contexto, los valores de recarga anual variaron entre el 7% y el 19% de la precipitación anual, especialmente durante las estaciones de otoño e invierno.

Los datos de los últimos tres años reflejan la vulnerabilidad del acuífero pampeano ante eventos climáticos extremos, como la sequía que afectó la región en ese período. Esto resultó en un descenso significativo de los niveles freáticos, alcanzando los valores de mayor profundidad registrados en las últimas dos décadas en la zona.

## **Agradecimientos**

Los autores expresamos nuestro profundo agradecimiento al Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica (FONCYT, PITEC 1349, 1616), así como al Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA, CRP F31006, F22315, F31005, 16203/RO), por su valioso respaldo financiero que ha posibilitado la realización exitosa de diversos proyectos y el continuo monitoreo del acuífero. Queremos dedicar un agradecimiento especial a la memoria de la Señora Joanie López Pueyrredón (QEPD), cuyos incansables esfuerzos fueron fundamentales para el avance del conocimiento hidrológico de la región.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**Bhattacharya, P. Bundschuh, J., (2015).** Groundwater for sustainable development: cross cutting the UN sustainable development goals. *Groundwater for Sustainable Development* 1(1):155-157.

- Bocanegra, E. Martínez, D. Massone, H. Farenga, M., (2005).** Modelación numérica preliminar del flujo subterráneo de la cuenca del río Quequén, Provincia de Buenos Aires. IV Congreso Argentino de Hidrogeología. Actas I:191-200.
- Campo De Ferreras, A.Piccolo, M., (2002).** Hidroquímica del Arroyo Pescado Castigado. Actas III Jornadas Nacionales de Geografía Física Santa Fe 97.
- Carretero, S. C. Kruse, E. E. Rojo, A. (2013).** Condiciones hidrogeológicas en Las Toninas y Santa Teresita, Partido de La Costa. In: VIII Congreso Argentino de Hidrogeología y VI Seminario Latinoamericano sobre Termas Actuales de la Hidrología Subterránea (La Plata, 17 al 20 de septiembre de 2013), 2013.
- Cook, P.Kilty, S., (1992).** A helicopter- borne electromagnetic survey to delineate groundwater recharge rates. *Water resources research* 28(11):2953-2961.
- Crosbie, R. S. Binning, P. Kalma, J. D., (2005).** A time series approach to inferring groundwater recharge using the water table fluctuation method. *Water resources research* 41(1).
- del Valle Venencio, M.García, N. O., (2011).** Interannual variability and predictability of water table levels at Santa Fe Province (Argentina) within the climatic change context. *Journal of Hydrology* 409(1-2):62-70.
- Domenico, P.Schwartz, P., (1990).** *Physical and Chemical Hydrogeology*, 2da edn, New York.
- Ferreira, G. Rodríguez, L. Vonnet, C. Choque, J. Marano, P., (2009).** Avances en el conocimiento del acuífero libre de la cuenca del arroyo Cululú (provincia de Santa Fe). VI Congreso Nacional de Hidrogeología y IV Seminario hispanoamericano de Termas Actuales de la Hidrogeología Subterránea, Santa Rosa, La Pampa, Argentina. ISBN 978-987-1082-36-7.
- González, N. (2005).** Los ambientes hidrogeológicos de la provincia de Buenos Aires. En *Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino*. Cap. XXII: 359-374. Eds de Barrio R.E. et al. La Plata
- Guarracino, L.Tocho, C. N. (2013).** Determinación del coeficiente de almacenamiento o porosidad drenable mediante mediciones de gravedad in situ. In: VIII Congreso Argentino de Hidrogeología y VI Seminario Latinoamericano sobre Termas Actuales de la Hidrología Subterránea (La Plata, 17 al 20 de septiembre de 2013), 2013.
- Healy, R. W.Cook, P. G., (2002).** Using groundwater levels to estimate recharge. *Hydrogeology Journal* 10(1):91-109.
- Jackson, D. Rushton, K., (1987).** Assessment of recharge components for a chalk aquifer unit. *Journal of hydrology* 92(1-2):1-15.
- Kimberly, M., (2012).** Information on Earth's water NGWA. org. Groundwater Fundaq metals/information for teachers/information on Earth's water.
- Kruse, E., (1993).** El agua subterránea y los procesos fluviales en la región centro oriental de la provincia de Buenos Aires. *Caracterización ambiental de la provincia de Buenos Aires CIC La Plata* 2:15.
- Kruse, E. Laurencena, P. Deluchi, M. Varela, L. (1997)** Caracterización de la red de drenaje para la evaluación hidrológica en la región interserrana (Provincia de Buenos Aires). En: actas del I Congreso Nacional de Hidrogeología y II Seminario Hispano–Argentino sobre Termas Actuales de Hidrología Subterránea Bahía Blanca, 1997. p 133-145.
- Kruse, E. Varela, L. Laurencena, P. Deluchi, M. (1998)** Efectos del agua subterránea enb la configuración de los cauces de la llanura interserrana de la provincia de Buenos Aires [Groundwater effects on the stream network in the intermountain plain in the Province of Buenos Aires]. In: Actas del X Congreso Latinoamericano de Geología y Vi Congreso Nacional de Geología Económica, Buenos Aires, 1998. vol 1. p 340-344.
- Kruse, E.E., (1986).** Aspectos geohidrológicos de la región sudoriental de Tandilla. Cuencas de los Aos. Vivorotá, las Brusquitas y el Durazno. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, Buenos Aires 41(3-4):367-374.

- Llambías, E. Prozzi, C., Ventania (1975)** En: Geología de la Provincia de Buenos Aires 6 Congreso Geológico Argentino, Relatorio Buenos Aires, 1975. p 79-101.
- Marcovecchio, R. Varni, M., (2020).** Una aproximación a las descargas por evapotranspiración del acuífero freático pampeano en la cuenca del Arroyo del Azul (llanura pampeana). CUADERNOS del CURIHAM. Vol. 26. Año 2020. Páginas 13 a 19. ISSN 1514-2906.
- Martínez, D. Fourné, E. Quiroz Londoño, O. Jean-Baptiste, P. Galli, M. G. Dapigny, A. Grondona, S., (2016).** Residence time distribution in a large unconfined–semiconfined aquifer in the Argentine Pampas using 3. Hydrogeology Journal 24(5):1107-1120.
- Mascioli, S. Benavente, M. Martínez, D., (2005).** Estimation of transport hydraulic parameters in loessic sediment, Argentina: Application of column tests. Hydrogeology Journal 13:849-857.
- Mathias, S. Butler, A. McIntyre, N. Wheeler, H., (2005).** The significance of flow in the matrix of the Chalk unsaturated zone. Journal of hydrology 310(1-4):62-77.
- Merlo, D. O. Rodrigues Capítulo, L. Kruse, E. E. Laurencena, P. C. Deluchi, M. Rojo, A., (2011).** Evaluación de la recarga del acuífero freático en un área de llanura. In: VII Congreso Argentino de Hidrogeología y V Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea (Salta, 18 al 21 de octubre de 2011), 2011.
- Pendiuk, J. E. Guarracino, L. Güntner, A. Antokoletz, E. D. Tocho, C. N. (2017)** Estimación del coeficiente de almacenamiento del acuífero Pampeano a partir de datos de un gravímetro superconductor. In: XXVIII Reunión Científica de la AAGG y III Simposio sobre Inversión y Procesamiento de Señales en Exploración Sísmica (La Plata, 2017), 2017.
- Pu, T. He, Y. Zhang, T. Wu, J. Zhu, G. Chang, L., (2013).** Isotopic and geochemical evolution of ground and river waters in a karst dominated geological setting: a case study from Lijiang basin, South-Asia monsoon region. Applied Geochemistry 33:199-212.
- Quiroz-Londoño, O. M. Martínez, D. Massone, H., (2012).** Estimación de recarga de acuíferos en ambientes de llanura con base en variaciones de nivel freático. Tecnología y ciencias del agua 3(2):123-130.
- Quiroz Londoño, O. Martínez, D. Dapeña, C. Massone, H., (2008).** Hydrogeochemistry and isotope analyses used to determine groundwater recharge and flow in low-gradient catchments of the province of Buenos Aires, Argentina. Hydrogeology Journal 16(6):1113-1127.
- Quiroz Londoño, O. Martínez, D. Massone, H., (2012a).** Estimación de recarga de acuíferos en ambientes de llanura con base en variaciones de nivel freático. Tecnología y ciencias del agua 3(2):123-130.
- Quiroz Londoño, O. Martínez, D. E. Massone, H. E., (2012b).** Evaluación comparativa de métodos de cálculo de recarga en ambientes de llanura. la llanura interserrana bonaerense (argentina), como caso de estudio. Dyna 79(171):239.
- Quiroz Londoño, O. M. Martínez, D. E. Massone, H. (2009)** Modelación matemática de flujo subterráneo en un sector de la llanura interserrana bonaerense, provincia de Buenos Aires. In: Argentina, A.-. (ed) VI Congreso Nacional de Hidrogeología y IV Seminario hispanoamericano de Temas Actuales de la Hidrogeología Subterránea, Santa Rosa, La Pampa, Argentina, 24 – 28 de agosto 2009. AIH p541 - 550.
- Quiroz Londoño, O. M. Martínez, D. E. Massone, H. E., (2012c).** Evaluación comparativa de métodos de cálculo de recarga en ambientes de llanura. la llanura interserrana bonaerense (argentina), como caso de estudio. Dyna 79(171):239.
- Quiroz Londoño, O. M. Martínez, D. E. Massone, H. E. Londoño Ciro, L. A. Dapeña, C., (2015).** Spatial distribution of electrical conductivity and stable isotopes in groundwater in large catchments: a geostatistical approach in the Quequén Grande River catchment, Argentina. Isotopes in environmental and health studies 51(3):411-425 doi:10.1080/10256016.2015.1056740.

- Santa Cruz, J. N. Busso, A. S., (1999).** Escenario Hidrogeológico General de los principales Acuíferos de la Llanura Pampeana y Mesopotamia Septentrional Argentina. II Congreso Argentino de Hidrogeología y IV Seminario Hispano Argentino sobre temas actuales en hidrología subterránea. Actas 1:461-473.
- Scanlon, B. R. Healy, R. W. Cook, P. G., (2002).** Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. *Hydrogeology journal* 10:18-39.
- Scioli, C. Vives, L. S. Burgos, M. Martinez, S. N. (2013)** Modelación del flujo subterráneo en la cuenca Matanza-Riachuelo, Provincia de Buenos Aires. In: VIII Congreso Argentino de Hidrogeología y VI Seminario Latinoamericano sobre Termas Actuales de la Hidrología Subterránea (La Plata, 17 al 20 de septiembre de 2013), 2013.
- Siebert, S. Burke, J. Faures, J.-M. Frenken, K. Hoogeveen, J. Döll, P. Portmann, F. T., (2010).** Groundwater use for irrigation—a global inventory. *Hydrology and earth system sciences* 14(10):1863-1880.
- Silva Busso, A. Santa Cruz, J., (2005).** Distribución de elementos traza en las aguas subterráneas del Partido de Escobar, Buenos Aires, Argentina. *Ecología austral* 15(1):31-47.
- Solana, X., (2020). Aplicación de técnicas geofísicas, hidrogeoquímicas e isotópicas en la caracterización hidrogeológica de ambientes de llanura. Universidad Nacional de Córdoba.
- Stephens, D. B. Knowlton Jr, R., (1986).** Soil water movement and recharge through sand at a semiarid site in New Mexico. *Water resources research* 22(6):881-889.
- Stone, D. B. Moomaw, C. L. Davis, A., (2001).** Estimating recharge distribution by incorporating runoff from mountainous areas in an alluvial basin in the Great Basin region of the southwestern United States. *Groundwater* 39(6):807-818.
- Thorntwaite, C. W., (1948).** An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical review* 38(1):55 doi:10.2307/210739.
- Varni, M., (2013). Aplicación de varias metodologías para estimar la recarga al acuífero pampeano, Argentina. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 4 (3), 67-85.
- Varni, M. Comas, R. Weinzettel, P. Dietrich, S., (2013).** Application of the water table fluctuation method to characterize groundwater recharge in the Pampa plain, Argentina. *Hydrological Sciences Journal* 58(7):1445-1455.
- Venecio, M. Varni, M., (2003).** Estimación de la carga y del Almacenamiento Específico a través de Análisis de Registros de Nivel Freático. III congreso Argentino de Hidrogeología y I seminario Hispano-latinoamericano sobre temas actuales de la hidrología subterránea. Rosario Argentina:153-160.
- Villanueva, M. Iglesias, A. I., (1984).** Pozos y acuíferos: Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo. Instituto Geológico y Minero de España.
- Weinzettel, P. Usunoff, E. Vives, L., (2005).** Groundwater recharge estimations from studies of the unsaturated zone. *Groundwater and Human Development Balkema Great Britain* Cap 5:133-143.
- Zanandrea, J. F., (2022).** Variaciones del nivel freático en la cuenca del arroyo El Pescado. Tesis de grado para Lic. en Geología. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata 45 pp. Disponible en <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/143167> Ultimo acceso: 6.11.2023.

Trabajo recibido el 3/09/2023 y aprobado para su publicación el 6/11/2023.

#### Cómo citar este artículo

Quiroz Londoño O.M., Gómez J.D., Martínez, D.E. (2023) Tendencias de recarga del Acuífero Pampeano en la Llanura Interserrana bonaerense: un análisis de 17 años. *Revista Argentina de Hidrogeología*, 2:45-57