

VARIACIÓN DE LOS APORTES HÍDRICOS EN UN SECTOR DEL CINTURÓN HORTÍCOLA PLATENSE, BUENOS AIRES, ARGENTINA. PERIODO 2018-2022

Daiana D. Dell' Arciprete^{*,**}; Felipe Herrera Niño^{*,**}; Patricia Laurencena^{*}; Silvina Carretero^{**,*} y Eduardo Kruse^{*,**}

* Centro de Estudios Integrales de la Dinámica Exógena (CEIDE), FCNyM-UNLP, 64 N°3, (1900) La Plata, Argentina. dellarciprededaiana@fcnym.unlp.edu.ar

** Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

Resumen

El agua subterránea abastece a la población y a la agricultura del Cinturón Hortícola de La Plata. El objetivo es cuantificar diferencias en la estimación de la evapotranspiración potencial por dos metodologías y determinar los excesos o déficit mediante balances hídricos diarios seriados. Se calcularon las tasas de evapotranspiración potencial diaria (2018-2022) por las metodologías de Hargreaves & Samari (EVTH) y Thornthwaite (EVTT). En el semestre cálido, los valores estimados por EVTH son de 13,2 a 61,9 mm mayores a los calculados por EVTT. Para el semestre frío, las diferencias fueron de 0,2 a 41,0 mm. Los balances a nivel del suelo con EVTT muestran excesos hídricos de unos 200 mm respecto a EVTH en años con precipitaciones mayores a la media anual. Con lluvias menores a la media, se observó un déficit en 2022 con ambos métodos. Se registraron descensos en la profundidad del agua de hasta 5 m en pozos realizados al acuífero freático. Diferentes metodologías para determinar la evapotranspiración potencial afectan la estimación de los excesos hídricos y al cálculo de la disponibilidad real del recurso. Se recomienda considerar estas diferencias al realizar cualquier actividad de explotación del acuífero, asegurando así una gestión adecuada y sostenible del recurso hídrico.

Palabras Claves: Balances hídricos, Evapotranspiración, Thornthwaite, Hargreaves & Samari.

Abstract

The groundwater supplies the population and agriculture of the Horticultural Belt of La Plata. The objective is to quantify differences in estimating potential evapotranspiration using two methodologies and to determine the excesses or deficit of the region through daily water balances. Daily potential evapotranspiration rates (2018-2022) were calculated with the methodologies by Hargreaves & Samani (EVTH) and Thornthwaite (EVTT). During the warm season, the values estimated by EVTH are between 13,2 and 61,9 mm higher than those calculated by EVTT. For the cold season, the differences were between 0,2 and 41,0 mm. Soil water balances with EVTT show water excesses of about 200 mm compared to EVTH in years with precipitation higher than the annual average. With rains lower than the average, a deficit was observed by 2022 using both methods. Declines in water depth of up to 5 m were recorded in wells tapping into the phreatic aquifer. Different methodologies for determining potential evapotranspiration affect water excess estimation and therefore the calculation of the real resource availability. It is advisable to consider these differences when carrying out any aquifer exploitation activity, thus ensuring proper and sustainable management of the water resource.

Keywords: Water balance, Evapotranspiration, Thornthwaite, Hargreaves & Samani.

INTRODUCCIÓN

Las cabeceras de los arroyos Martín, Carnaval, Rodríguez y El Gato forman parte del Cinturón Hortícola de La Plata, destacándose como la región productora de hortalizas más relevante de Argentina (García, 2011).

La región cuenta con algunos sectores que reciben servicios de aprovisionamiento de agua potable y sistema cloacal por parte de empresas privadas y cooperativas locales. Otros sectores se abastecen del recurso hídrico por medio de perforaciones particulares; por ello, se utiliza agua subterránea tanto para el consumo humano como para la industria, producción hortícola y florícola.

En los últimos años se ha registrado una disminución en las precipitaciones y, en conjunto con el avance de la impermeabilización del terreno, se ha visto afectado el proceso de infiltración y consecuentemente la recarga de los acuíferos de la región (Auge, 2005).

El objetivo del trabajo es cuantificar la diferencia de evapotranspiración potencial diaria estimadas por la metodología de Hargreaves & Samani (1985) y de Thornthwaite (1948) para el periodo comprendido entre 2018 y 2022. A partir de los resultados, determinar si es un período con excesos hídricos o de déficit en la región mediante balances hídricos diarios seriados (Thornthwaite & Mather, 1957).

El presente trabajo constituye una etapa preliminar de uno de mayor detalle en el que se empleará la totalidad de los registros históricos tanto de precipitaciones, temperaturas, freaticimetría y parámetros hidráulicos subterráneos del área.

ÁREA DE ESTUDIO

Características generales de la región

El área de estudio se ubica dentro de la llanura chaco-pampeana húmeda, al noreste de la provincia de Buenos Aires, en la ciudad de La Plata. Es de interés el área de cabecera de los arroyos Carnaval, Martín, Rodríguez y El Gato, los cuales tienen un escurrimiento superficial hacia el noreste de la ciudad con dirección al Río de la Plata (Figura 1).

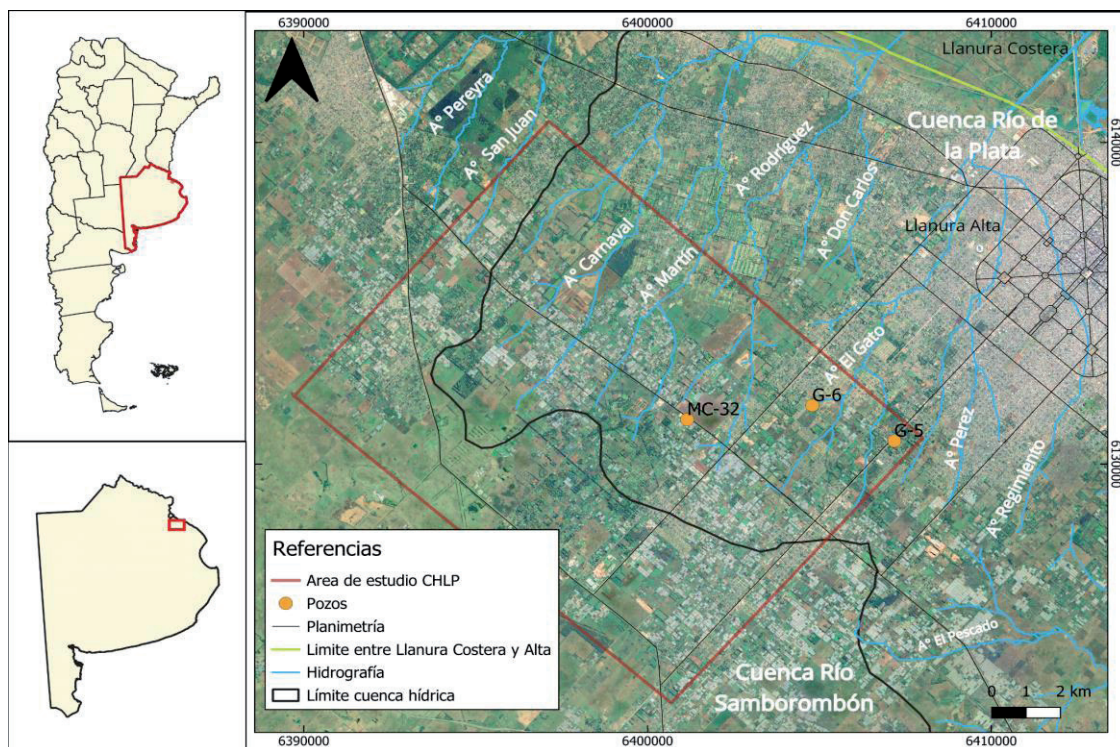


Figura 1. Ubicación del área de estudio delimitada con coloración roja.

El proceso de infiltración y seguidamente la recarga de los acuíferos se ven favorecidos por la geomorfología, edafología y geología de la región.

Geomorfología e hidrología superficial de La Plata

En la región se pueden diferenciar dos zonas topográficas diferentes, producto de su geomorfología: la Llanura Costera, de influencia estuárico-marina, y la Llanura Alta, con predominio de sedimentos continentales (Cavallotto, 1995).

La Llanura Costera ocupa solo pequeños sectores hacia el norte y hacia el este de la ciudad. Se extiende aproximadamente entre la cota de 5 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) y la costa del Río de la Plata. Se trata de una zona de relieve plano a plano-cóncavo, con pendientes en general inferiores a 0,03 %, con importantes sectores deprimidos. La llanura costera se vincula a la llanura alta a través de un antiguo paleoacantilado, cuya pendiente oscila generalmente entre 1 y 2 %.

La Llanura Alta comprende la totalidad del área de estudio, ubicándose por encima de los 5 m.s.n.m. hasta aproximadamente los 30 m.s.n.m. con relieve plano. Las cotas más altas se encuentran al suroeste-sur, las cuales actúan como divisoria de aguas entre las dos vertientes principales de La Plata: la del Río de la Plata hacia el norte y río Samborombón hacia el sur. Según Hurtado et al. (2006), la vertiente del Río de la Plata presenta rasgos morfológicos que guardan semejanza con los de la Pampa Ondulada, evidenciados en las ondulaciones producidas por la alternancia de interfluvios y planicies de inundación. Las redes de drenaje superficiales que se encuentran dentro de la llanura alta presentan un rumbo general de escurrimiento suroeste-noreste, desaguando en la Llanura Costera y no en el Río de la Plata. Esto se debe a que, entre los 5 m.s.n.m. y la costa del Río de la Plata se produce un cambio de pendiente, la cual es menor a 0,03%, dando como resultado que los arroyos comiencen a perder energía. La vertiente está integrada de NO a SE, parcialmente por las cuencas de los arroyos Pereyra y San Juan y totalmente por las cuencas de los arroyos Carnaval, Martín, Rodríguez, Don Carlos, del Gato, Pérez, Regimiento, Jardín Zoológico, Circunvalación, Maldonado, Garibaldi y El Pescado.

Geología e hidrología subterránea de La Plata

En esta área se presenta una secuencia estratigráfica, que constituye un acuífero multiunitario compuesto por una alternancia de secciones productivas, separadas por sedimentos de menor permeabilidad (García, 2016).

La secuencia estratigráfica donde se encuentran los acuíferos más importantes de la región está constituida de base a techo por diferentes tipos litológicos.

Según García (2016), aproximadamente entre los 44 y 63 m bajo el nivel del terreno (m.b.n.t.) se encuentra la formación Puelches. Esta unidad está constituida por arenas cuarzosas, medianas y finas, de color amarillento a blanquecino y algo micáceas (Auge & Hernández, 1984). La formación contiene al acuífero semiconfinado más explotado del país el cual tiene valores de transmisividad entre 150 a 1500 m²/día y un caudal entre 40 a 160 m³/hora (Auge, 2005).

Por encima se depositó el Loess Pampeano, formado por limos arenosos y arcillosos, castaños y pardos de origen eólico, con intercalaciones de tosca, entre los 43 m.b.n.t. y la superficie, dependiendo de los niveles topográficos y la posición del techo de la formación Puelches. Estos sedimentos contienen al acuífero libre Pampeano, con valores de transmisividad que varían entre 10 a 315 m²/día y un caudal de 10 a 30 m³/hora (Auge, 2005), siendo uno de los más utilizados en la llanura Chaco-Pampeana para consumo humano, ganadería, usos industriales y para riego (Auge, 2004).

El Acuífero Pampeano se recarga por la transferencia descendente del agua de lluvia, y a través de las capas de baja permeabilidad que se encuentran en la base de esta formación, el agua llega hasta el acuífero Puelche subyacente.

La secuencia estratigráfica culmina con la Formación Postpampeano, la cual constituye la sección estratigráfica más moderna de la región. La misma se encuentra formada

por sedimentos de origen fluvial, marino y lacustre, en los que predomina la granulometría fina (limo, arcilla y arena fina), características que permiten que la formación tenga la capacidad de transmisividad en el sector de sedimentos arcillosos de $5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{día}$ y un caudal de $0 \text{ m}^3/\text{hora}$, sin embargo, en los sectores donde hay conchilla la transmisividad es de $10 \text{ m}^2/\text{día}$ y valor de caudal de $3 \text{ m}^3/\text{hora}$ (Auge, 2005).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo del trabajo se analizaron los registros históricos de precipitaciones mensuales desde 1909 hasta 2022. También, se utilizaron los datos de precipitaciones y temperaturas diarias del periodo comprendido entre 2018-2022, los cuales fueron brindados por el Departamento de Sismología e Información Meteorológica, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata.

Se calculó la evapotranspiración potencial diaria por la metodología de Thornthwaite (1948) mediante la ecuación 1:

$$ETP = ETP_{sin\ corregir} \times \left(\frac{N}{12}\right) \times \left(\frac{d}{30}\right) \quad (1)$$

Donde ETP es la evapotranspiración potencial diaria expresada en mm/día, $ETP_{sin\ corregir}$ representa la evapotranspiración potencial diaria en mm/días (para 30 días y 12 horas de sol teóricas), N es el número máximo de horas de sol dependiendo de la latitud y el mes, y d es el número de días del mes.

También se aplicó la metodología de Hargreaves & Samani (1985), según los parámetros de la ecuación 2:

$$ET_o = 0,0023(t_{med} + 17,78) \cdot R_0 \cdot (t_{max} - t_{min})^{0,5} \quad (2)$$

Donde ET_o es la evapotranspiración de referencia diaria expresada en mm/día, t_{med} es la temperatura media diaria en °C, $t_{máx}$ es la temperatura máxima en °C, $t_{mín}$ es la temperatura mínima en °C y R_0 es la radiación solar extraterrestre en mm/día.

A partir de la ET_o diaria, se realizó el análisis a nivel mensual.

En el campo de la Hidrogeología, al realizar un balance hidrológico a nivel de cuenca, los términos ET_o y ETP se utilizan de forma indistinta. Por lo cual, para facilitar la lectura del trabajo, se mencionará a la evapotranspiración potencial diaria (ETP) como EVTT y a la evapotranspiración de referencia (ET_o) como EVTH.

Una vez obtenida la evapotranspiración potencial estimada por los métodos previamente mencionados, se realizaron los balances hídricos diarios seriados por la metodología de Thornthwaite & Mather (1957). Se consideró una capacidad de campo de 200 mm, teniendo en cuenta las características litológicas de la región.

Con los resultados diarios obtenidos, se hizo un análisis mensual y anual para la realización de gráficos comparativos entre las evapotranspiraciones tanto potenciales como reales y los excesos hídricos, para una mejor visualización.

Los pozos que se presentan en este trabajo forman parte de una red de monitoreo de 115 perforaciones que involucra las cuencas del arroyo El Pescado, Maldonado, El Gato, Pérez, Rodríguez, Martín y Carnaval, que se censan desde el año 2016, tanto al acuífero freático como al semiconfinado.

Debido a la discontinuidad en las mediciones, producto de la desactivación de pozos, imposibilidad de realizar las mediciones e incorporación de nuevos pozos a la red, se pudieron comparar los datos obtenidos para julio del 2023 con los medidos en 2018 para solamente tres pozos.

RESULTADOS

Precipitaciones

Se caracterizaron las precipitaciones para el periodo 1909 y 2022 con evidencias de un marcado Régimen Atlántico, donde las mayores precipitaciones se dan en los meses de verano, y una disminución de las mismas durante los meses de invierno. La precipitación media anual es de 1044 mm/año, con una temperatura media anual de 16,3 °C. En el año 1914 se registró una precipitación anual de 1926 mm, lo que lo convierte en el año más lluvioso desde 1909 hasta la fecha. Por otro lado, en 1916 se registraron solo 416 mm, lo que lo convierte en el año más seco registrado en la localidad.

A partir del análisis de las precipitaciones de los últimos años (2018-2022) (Figura 2) se pudo evidenciar que las precipitaciones fueron disminuyendo progresivamente desde el año 2018 hasta el año 2022. En 2022, las precipitaciones registradas se redujeron 796,4 mm/año con respecto al año 2018 (1367,2 mm/año), siendo un 50% con respecto a la media anual histórica del periodo 1909-2022.

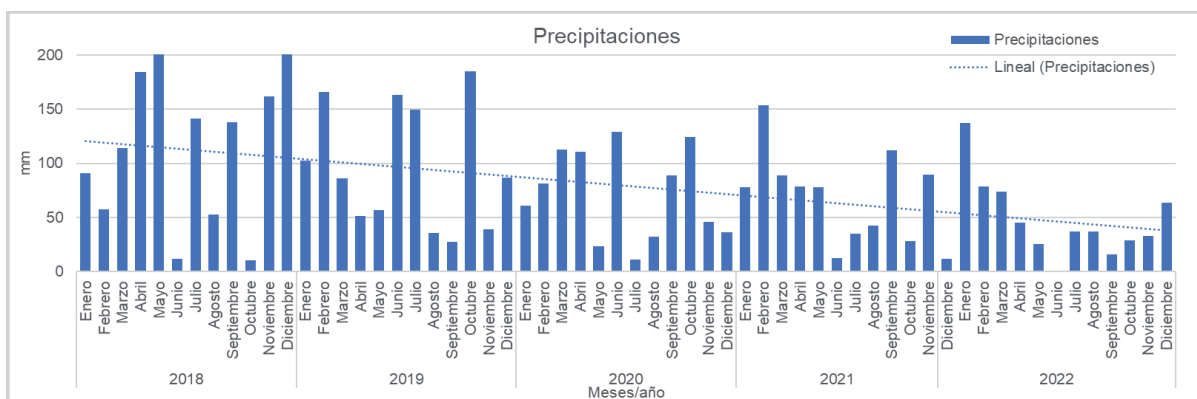


Figura 2. Precipitaciones mensuales comprendidas entre 2018 y 2022.

En cuanto a las temperaturas para el mismo periodo (2018-2022) presenta máximas diarias de 8,8°C (para los meses fríos) hasta 41,7°C (para los meses cálidos) y temperaturas mínimas diarias entre 0,6°C y 24,9 °C correspondientes a los meses fríos y cálidos respectivamente. Por lo cual, en estos años se registraron valores medios de temperatura desde 9 °C hasta 24.7 °C correspondiente a los meses fríos y cálidos respectivamente (Figura 3).

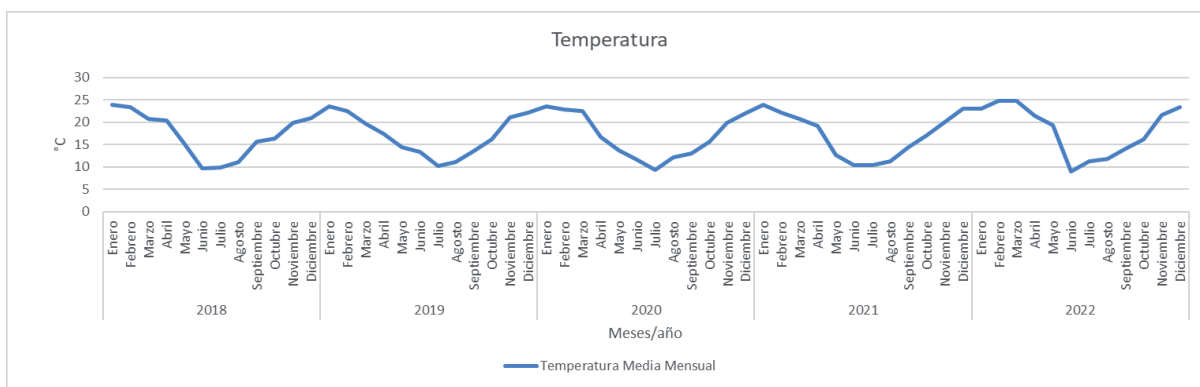


Figura 3. Temperatura media para el periodo 2018-2022.

Balance hidrológico 2018-2022

En la Figura 4 se representan las diferencias entre las estimaciones de EVTH con respecto a EVTT con valores entre 0,2 y 61,6 mm. Se observan ciclos en los que estas discrepancias aumentan durante los meses cálidos, donde EVTH es mayor que EVTT, alcanzando un valor mínimo de 13,2 mm (enero 2019) y máximo en diciembre de 2020 de

61,9 mm. Por otro lado, durante los meses más fríos, las diferencias en la evapotranspiración potencial resultan ser menores a los 41,0 mm, con un valor mínimo de 0,2 mm obtenido en abril de 2021. Las únicas excepciones ocurrieron para los meses de abril y mayo del año 2018 y para junio del 2019 donde la EVTT resultó ser un 7,1; 0,4 y 1 mm mayores que la EVTH, respectivamente. Por lo tanto, la EVTH calculó valores entre un 0,2 y 51,4% más elevados que la EVTT. Siendo para los meses cálidos una diferencia porcentual entre 8,6 y 47,0% y en los meses fríos hasta un 51,4%.

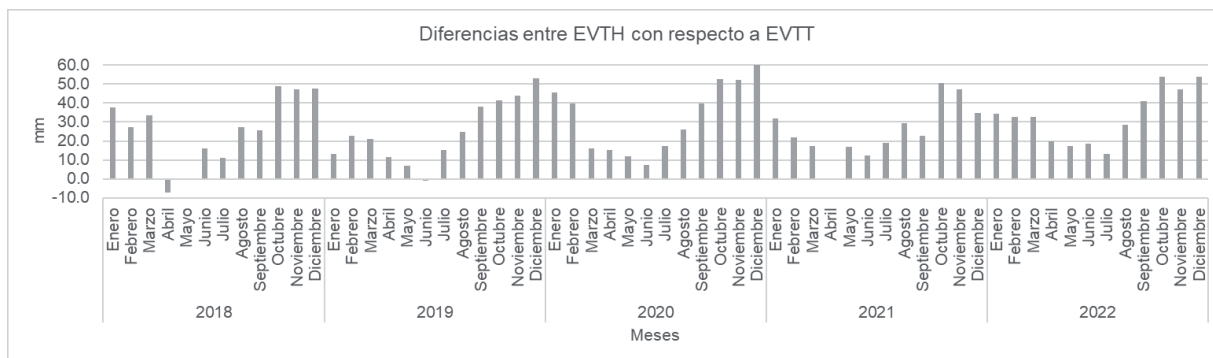


Figura 4. Diferencias en las estimaciones EVTH con respecto a EVTT.

Los resultados del balance hídrico diario calculado con EVTT evidencian que, en el año 2018, todos los meses de mayo a diciembre, exceptuando octubre, registraron excesos hídricos entre 2,1 y 127,3 mm, sumando un total de 460,0 mm al año. En cambio, el balance hídrico realizado con EVTH registró excesos en los meses de mayo, julio, agosto y septiembre, con un total de 256,0 mm para el mismo año.

Para el año 2019, todos los meses menos abril, mayo, noviembre y diciembre los excesos hídricos estimados con EVTT varían entre 1,9 y 131,4 mm, sumando 400 mm al año. Solo en los meses de junio, julio y octubre se registró disponibilidad de agua con un total de 191 mm, para los balances realizados con EVTH.

En los años siguientes el balance calculado con EVTT registró excesos hídricos en los meses de septiembre y octubre, con un total de 109 mm para el año 2020. En el 2021 solo hubo 19,0 mm de excesos en el mes de septiembre, y en el año 2022 no se registró disponibilidad de agua en el sistema.

Para los tres últimos años analizados, no se registraron excesos hídricos calculados a través de la EVTH.

En la Figura 5, se observan los resultados de los balances hídricos anuales a nivel del suelo. En ellas se observa que durante el año 2018 y 2019, donde las precipitaciones fueron superiores a la media anual (1044 mm/año), las estimaciones realizadas a partir de EVTT mostraron excesos hídricos de 204,0 y 209,0 mm de diferencia mayores respecto a los calculados con EVTH. A partir del año 2020, comienza una etapa en la que disminuyen las precipitaciones, siendo menores a la media, por consiguiente, la disponibilidad del recurso hídrico disminuyó hasta 0,0 mm para el año 2022 estimados con ambas metodologías. En este último año no se registró saturación en la capacidad de campo.

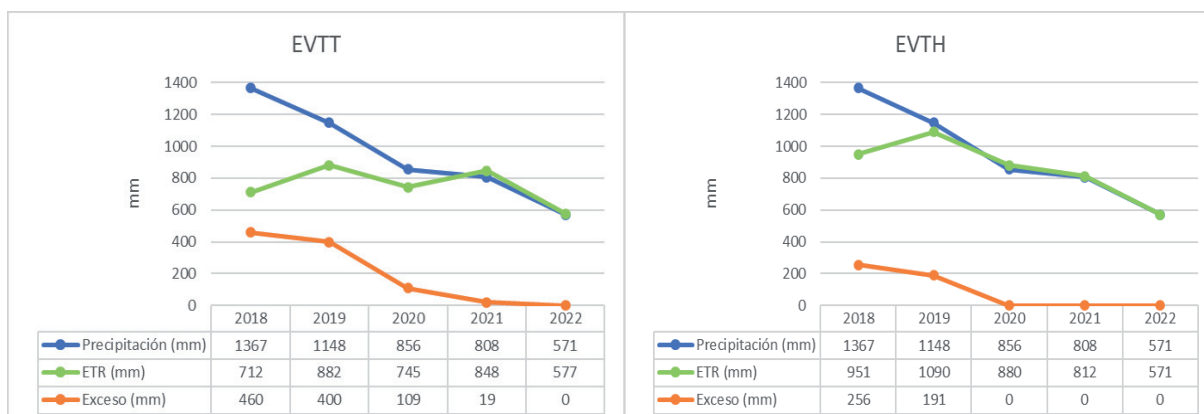


Figura 5. Gráficos del balance hidrológico calculados con EVTT y EVTH para el periodo 2018-2022.

El balance seriado a nivel del suelo realizado con EVTH, estima valores de evapotranspiraciones reales (ETR) de 951, 1090 y 880 mm/año para 2018, 2019 y 2020 respectivamente, siendo aproximadamente un 25%, 19% y 15% mayores que las calculadas con EVTT. Para los años 2021 y 2022, las ETR calculadas a partir de EVTH fueron de 812 y 571 mm/año respectivamente, siendo un 4% y 1% menor, que las calculadas con EVTT.

Por lo tanto, el balance hídrico calculado con EVTH presenta mayores evapotranspiraciones reales y menores excesos hídricos que los calculados a partir de EVTT.

Red de monitoreo

Para el año 2018, las mediciones de la profundidad del agua del acuífero Pampeano fueron de 19,3 m.b.b.p. (metros bajo boca de pozo) para el pozo denominado G-6, 20,4 m.b.b.p para la perforación MC-32 y 30,9 m.b.b.p. para el pozo G-5. En julio del 2023, se obtuvo un nuevo registro de esos mismos pozos, donde se midieron valores de 24,4; 25,0 y 36,1 m.b.b.p., para G-6, MC-32 y G-5 respectivamente (Tabla 1). En base a estos registros, es posible calcular un descenso de entre 4 y 5 m. Este comportamiento es consecuencia de la interacción de dos factores: el primero es producto de la disminución de la recarga del acuífero en los últimos años, el segundo es por la intensa explotación del recurso en el área tanto para consumo humano como la actividad hortícola, florícola e industrial.

Tabla 1. Niveles de agua del acuífero Pampeano (2018 y 2023)

Pozo	2018	2023	Diferencia hidráulica m
	m.b.b.p.	m.b.b.p	
G-5	30,9	36,1	-5,2
G-6	19,3	24,4	-5,1
MC-32	20,4	25,0	-4,6

CONCLUSIONES

La EVTH estimó valores entre un 0,2 y 51,4% más elevados que la EVTT. Siendo para los meses cálidos una diferencia entre los 8,6 y 47,0% y en los meses fríos hasta un 51,4% de diferencia. Por lo que el balance hídrico calculado con EVTH estima valores mayores de evapotranspiración real y consecuentemente, menores excesos hídricos que los calculados a partir de EVTT.

La disminución de las precipitaciones llevó a registrar excesos hídricos en los años con precipitaciones mayores a la media anual desde 460,0 mm (EVTT) y 256,0 mm (EVTH) hasta 0 mm/año para los años con lluvias registradas menores a la media.

El nivel freático disminuyó en el orden de 4,0 a 5,0 m.b.b.p. desde 2018 hasta julio de 2023.

La profundización de los niveles de agua genera una disminución en las reservas del recurso subterráneo y consecuentemente una competencia por el uso del agua.

Las diferentes metodologías para determinar la evapotranspiración potencial afectan la estimación de los excesos hídricos, por consiguiente, al cálculo de la disponibilidad real del recurso.

Es necesario considerar estas diferencias al realizar cualquier actividad de explotación del acuífero, asegurando así una gestión adecuada y sostenible del recurso hídrico.

El presente trabajo constituye una etapa preliminar de uno de mayor detalle donde se empleará la totalidad de los registros históricos.

REFERENCIAS

- Auge, M. P.** (2004). *Regiones hidrogeológicas. República Argentina y provincias de Buenos Aires, Mendoza y Santa Fe. La Plata.* Sedici.
http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/15909/Documento_completo.pdf?sequence=1.
- Auge, M. P.** (2005). *Hidrogeología de La Plata, Provincia de Buenos Aires.* En Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino (pp. 293-312). La Plata.
- Auge, M. P. y Hernández, M. A.** (1984). *Características geohidrológicas de un acuífero semiconfinado (Puelche) en la Llanura Bonaerense.* Coloquio Internacional Hidrología de Grandes Llanuras. UNESCO. Actas: Vol. III: 1019-1043. Buenos Aires - París.
- Cavallotto, J.** (1995). *Evolución Geomorfológica de la Llanura Costera del Margen Sur del Río de La Plata.* Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata.
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/4804>
- Hargreaves, G. H. y Samani, Z. A.** (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Eng. in Agric.*, 1(2): 96-99.
- García, J. M.** (2011) *El Cinturón Hortícola Platense: ahogándonos en un mar de plásticos. Un ensayo acerca de la tecnología, el ambiente y la política.* Theomai, 23, 35-53. Recuperado de http://revistatheomai.unq.edu.ar/NUMERO%2023/contenido_23.htm
- García, J. M.** (2016). Particularidades del Acuífero Puelche en la región de La Plata. (Trabajo Final de Licenciatura). Universidad Nacional de La Plata. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/64657>
- Hurtado, M.; Giménez, J.; Cabral, M.; Silva, M.; Martínez, O.; Camilión, M.; Sánchez, C.; Muntz, D.; Gebhard, J.; Forte, L.; Boff, L.; Crincoli, A.; y Lucesoli, H.** (2006). Análisis ambiental del partido de La Plata: aportes al ordenamiento territorial. CISAUA, Ministerio Asuntos Agrarios. Universidad Nacional de La Plata Ed. 124 p. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/27046>
- Thorntwaite, C. W.** (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38, 55-94.
- Thorntwaite, C. W., y Mather, J. R.** (1957). Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and water balance. *Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology.*, 3(10), 183-311.kj