



Evaluación de la calidad del agua del arroyo Tapalqué (provincia de Buenos Aires): contribuyendo al ODS 6 de Naciones Unidas

Water quality assessment of the Tapalqué Creek (Buenos Aires province): contributing to the United Nations SDG 6

Melisa GLOK-GALLI^{1*} ; Paula VITALE¹ ; Pamela B. RAMOS¹ ; Eugenia LABARRIETA² ; Carolina IRAPORDA³ ; Irene RUBEL³ ; Karina S.B. MIGLIORANZA⁴ ; Maximiliano I. DELLETESSE¹ ; Emilia DÍAZ⁵; Daniel E. MARTÍNEZ⁶ 

¹ INMAT, Facultad de Ingeniería (FIO, UNCPBA)-CIFICEN (UNCPBA-CICPBA-CONICET). Av. del Valle 5737, (7400) Olavarría, Argentina.

² FIO (UNCPBA). Av. del Valle 5737, (7400) Olavarría, Argentina.

³ TECSE, FIO (UNCPBA). Av. del Valle 5737, (7400) Olavarría, Argentina.

⁴ ECoA, IIMyC (UNMDP-CONICET). Dean Funes 3350, (7600) Mar del Plata, Argentina.

⁵ Municipalidad de Olavarría, Desarrollo Sustentable. Moreno 2765, (7400) Olavarría, Argentina.

⁶ Grupo de Hidrogeología (UNMDP)-IIMyC (UNMDP-CONICET). Dean Funes 3350, (7600) Mar del Plata, Argentina.

* Autor de correspondencia: <melisaglokgalli@gmail.com>

RESUMEN

En el centro de la provincia de Buenos Aires, el arroyo Tapalqué es el principal curso de agua de su cuenca homónima y presenta un comportamiento efluente, recibiendo la descarga del acuífero Pampeano. Las actividades agrícolas, ganaderas, industriales y recreativas, sumadas al vuelco de efluentes de plantas depuradoras de líquidos cloacales (PDLC), de líquidos lixiviados tratados de los rellenos sanitarios municipales (RSM) y de descargas líquidas no declaradas a través de un canal tributario, influyen negativamente en su composición fisicoquímica y microbiológica. El objetivo propuesto es el de evaluar de manera integral la calidad del agua del mismo, considerando sus potenciales aplicaciones y haciendo hincapié en el uso

► Ref. bibliográfica: Glok-Galli, M.; Vitale, P.; Ramos, P. B.; Labarrieta, E.; Iraporda, C.; Rubel, I.; Miglioranza, K. S. B.; Dellestesse, M. I.; Díaz, E.; Martínez, D. E. 2024. "Evaluación de la calidad del agua del arroyo Tapalqué (provincia de Buenos Aires): contribuyendo al ODS 6 de Naciones Unidas". *Acta Geológica Lilloana* 35 (2): 187-202. doi: <https://doi.org/10.30550/j.agl/1989>

► Recibido: 9 de agosto 2024 – Aceptado: 29 de noviembre 2024



► URL de la revista: <http://actageologica.lillo.org.ar>

► Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución – No Comercial – Sin Obra Derivada 4.0 Internacional.

recreativo con contacto directo. El trabajo continúa el monitoreo planteado en el “Proyecto de Observatorio de Calidad de Agua de la cuenca del arroyo Tapalqué” (Convenio FIO-Municipalidad de Olavarría). Se realizaron análisis fisicoquímicos, microbiológicos y de niveles de plaguicidas organoclorados (POCs), en diferentes sitios de muestreo a lo largo de su recorrido. Se midieron bajos valores de oxígeno disuelto, altos contenidos de NH_4^+ y NO_2^- y concentraciones anómalas de metales. El análisis de parámetros de calidad bacteriológica reveló una contaminación predominantemente de origen humano. Los niveles detectados de POCs (principalmente endosulfán) y los altos valores de NO_3^- encontrados en zonas rurales podrían atribuirse al uso de agroquímicos. Comprender y evaluar continuamente la calidad del agua en el arroyo Tapalqué es esencial para tomar medidas de gestión y de conservación efectivas, contribuyendo al alcance del ODS 6 de Naciones Unidas y sus metas.

Palabras clave: Calidad del Agua, Arroyo Tapalqué, Análisis Fisicoquímicos, Análisis Microbiológicos, Plaguicidas Organoclorados, ODS 6.

ABSTRACT

In the centre of the Buenos Aires province, the Tapalqué Creek is the main watercourse of its namesake catchment and exhibits effluent behaviour, receiving water discharge from the Pampeano aquifer. Agricultural, livestock, industrial, and recreational activities, combined with the discharge of effluents from sewage treatment plants (STP), treated leachate from municipal sanitary landfills (MSL), and undeclared liquid discharges through a tributary channel, negatively affect its physicochemical and microbiological composition. The proposed objective is to comprehensively evaluate its water quality, considering its potential applications and emphasizing recreational use with direct contact. The work continues the monitoring planned in the “Tapalqué Creek Water Quality Observatory Project” (Agreement between FIO and the Olavarría Municipal Government). Physicochemical, microbiological and Organochlorine pesticides (OCPs) analyses were conducted at different sampling sites along its course. Low dissolved oxygen values, high levels of NH_4^+ and NO_2^- , and anomalous concentrations of metals were measured. The analysis of bacteriological quality parameters revealed predominantly human-derived contamination. The detected levels of OCPs (mainly endosulfan) and the high values of NO_3^- found in rural areas could be attributed to the use of agrochemicals. Understanding and continuously assessing the water quality in the Tapalqué Creek is essential for taking effective management and conservation measures, thus contributing to the achievement of the United Nations SDG6 and its targets.

Keywords: Water Quality, Tapalqué Creek, Physicochemical Analysis, Microbiological Analysis, Organochlorine Pesticides, SDG 6.

INTRODUCCIÓN

La calidad del agua es una de las principales preocupaciones que enfrentan las sociedades, amenazando la salud humana, limitando la producción de alimentos, reduciendo las funciones de los ecosistemas y obstaculizando el crecimiento económico. Su deterioro se traduce directamente en problemas ambientales y representa un desafío importante, tanto en los países en vías de desarrollo como en los desarrollados. La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas (Naciones Unidas, 2015) sitúan los problemas de la calidad del agua en un primer plano de la acción internacional, al establecer el ODS 6 con la finalidad específica de “garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos”, para responder a los desafíos urgentes que se plantean vinculados con la calidad del agua (IIWQ, 2015).

En la mayoría de los ambientes geográficos, los cuerpos de agua superficial (arroyos, lagunas y humedales en general) están conectados al agua subterránea, siendo parte activa del sistema de flujo subterráneo (Winter, 1999). De este modo, el aporte natural y/o antrópico de contaminantes a los sistemas acuáticos puede ocurrir por varias vías, entre las que se encuentran la contribución de los cursos de agua superficiales, la deposición atmosférica o las descargas de agua subterránea (Mook, 2002).

La llanura Chaco-Pampeana argentina es una de las áreas más amenazadas a causa de la contaminación de sus recursos hídricos, entre otros, por la presencia de patógenos entéricos bacterianos, de metales pesados, de especies de nitrógeno reactivas disueltas y/o de plaguicidas y fertilizantes (Gambero *et al.*, 2018; Romanelli *et al.*, 2020; entre otros). Concentra más del 50 % de la población del país, siendo la principal región agrícola e industrial. En su sector SE (al centro de la provincia de Buenos Aires) se ubica la cuenca del arroyo Tapalqué (CAT), en la cual los recursos hídricos merecen especial atención. Las aguas subterráneas del acuífero detrítico de la zona, denominado acuífero Pampeano (Auge, 2004), constituyen la mayor fuente de abastecimiento para distintos usos (urbanos, agrícolas, ganaderos, mineros e industriales). Por su parte, los arroyos y lagunas, de comportamiento efluente o ganador, son poco significativos desde el punto de vista del abastecimiento, pero son de gran importancia por su implicancia en diversos procesos hidrológicos. Existen como antecedentes investigaciones realizadas en dicha cuenca, referidas a estudios climatológicos, geofísicos, hidrogeológicos, hidroquímicos e isotópicos, incluyéndose el análisis de los contenidos de ciertos contaminantes (Auge, 1993; Kruse *et al.*, 1993; Díaz *et al.*, 2012; Glok-Galli *et al.*, 2020, 2023; entre otros).

El arroyo Tapalqué (Figura 1) es el principal curso de agua de la CAT. Esta cuenca posee una extensión de aproximadamente 3.500 km² de superficie y ocupa mayoritariamente los partidos de Olavarría y Tapalqué, abarcando sectores menores al N del partido de Benito Juárez, al O y SO del partido de Azul y al S del partido de General Alvear. En particular, el arroyo

Tapalqué posee rumbo generalizado NO-N y recibe los aportes de cursos de menor porte, como el arroyo San Jacinto. Su caudal medio a la altura de la ciudad de Olavarría es de 3 m³/s (Sistema Nacional de Información Hídrica, 2015-2021). Tiene sus nacientes en la Estancia La Nutria Chica, en el partido de Benito Juárez, y atraviesa el ejido urbano de las ciudades de Olavarría y Tapalqué. Parte de su caudal desemboca en el Canal 11 y el resto se pierde en zonas de bañados en General Alvear, que en épocas de abundante lluvia puede confluir en el arroyo Las Flores aportando su cauce al Río Salado (Auge, 1993). En su recorrido pasa por sectores en donde las actividades que se desarrollan influyen directamente en su composición y calidad, como lo son las agrícolas, ganaderas, industriales y recreativas. También inciden el vuelco de las descargas de los conductos pluviales de las ciudades, de los drenajes de agroecosistemas de las zonas rurales, de los efluentes de plantas depuradoras de líquidos cloacales (PDLC) y de los líquidos lixiviados tratados de los rellenos sanitarios municipales (RSM). En este contexto, es evidente la necesidad de controlar la calidad de dichos vertidos y la capacidad de autorrecuperación de las aguas del arroyo Tapalqué en esos puntos de descarga.

De esta manera, se han llevado y se llevan a cabo actividades tendientes a ampliar el conocimiento del ambiente hidrológico bajo estudio, para responder a las necesidades actuales, conocer las potencialidades y generar herramientas que posibiliten un manejo sustentable de los recursos hídricos. Es así que a principios del año 2017 se creó el “Proyecto de Observatorio de Calidad de Agua de la cuenca del arroyo Tapalqué (POAT)” (<https://gobiernoabierto.olavarria.gov.ar/?s=observatorio>), de carácter permanente e integrado por la Municipalidad de Olavarría, la Facultad de Ingeniería de Olavarría (FIO, Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos Aires -UNCPBA-), el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Olavarría (INTA Olavarría) y el Grupo de Ecotoxicología y Contaminación Ambiental de Mar del Plata (ECoA, Universidad Nacional de Mar del Plata, UNMDP-CONICET) (Convenio de Cooperación Técnica FIO-Municipalidad de Olavarría N° 0038/2017). El mismo tiene como finalidad principal el monitoreo de las aguas superficiales y subterráneas de la CAT, en pos de verificar y controlar la calidad y/o peligrosidad para la población, mediante el empleo de herramientas hidroquímicas y microbiológicas.

En el marco del POAT, el objetivo de la presente investigación fue evaluar de manera integral la calidad del agua del arroyo Tapalqué. Para esto se realizaron análisis fisicoquímicos, microbiológicos y de niveles de plaguicidas organoclorados (POCs) en muestras a lo largo de su recorrido, con foco en las posibles fuentes puntuales de contaminación. Se tuvieron en cuenta, por un lado, su estrecha interacción con el acuífero Pampeano y, por el otro, las potenciales aplicaciones de este cuerpo de agua superficial, haciendo especial hincapié en el uso recreativo con contacto directo. La información generada tendrá un impacto socio-económico positivo en la región, ayudando en la toma de decisiones, que incluyen acciones de con-

tol y mitigación del nivel de contaminación y riesgo sanitario asociado, y permitiendo una gestión de los recursos hídricos más eficiente y efectiva. En consecuencia, se contribuye con el alcance del ODS 6 de las Naciones Unidas y sus metas.

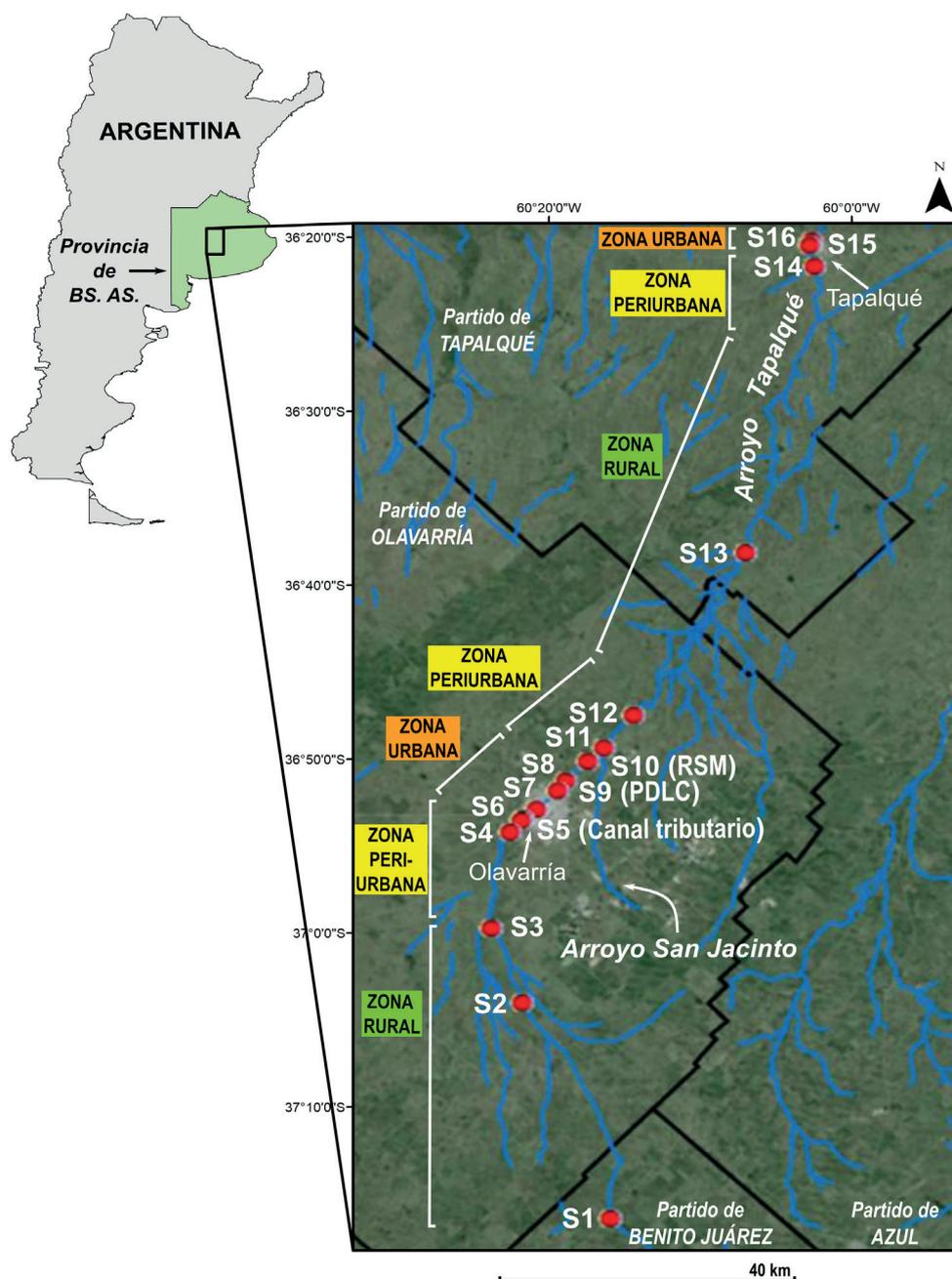


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo (PDLC: planta depuradora de líquidos cloacales, RSM: relleno sanitario municipal).

MARCO GEOLÓGICO / HIDROGEOLÓGICO

El área circundante al arroyo Tapalqué forma parte del Sistema de Tandilia, en su porción noroccidental (denominación genérica: Sierras de Olavarría). El mismo se encuentra estructuralmente conformado por bloques alineados de acuerdo con tres sistemas de fallas Terciarias, con tendencia NO-SE, NE-SO y E-O, las cuales producen estructuras de horst y graben, y con estratos que se inclinan suavemente hacia el SO (Nágera, 1940; Dalla Salda *et al.*, 2006). Se define así un ámbito serrano de escasa expresión areal (al E y O del curso medio del arroyo) y con alturas de hasta 310 metros sobre el nivel del mar (m s.n.m.). El ambiente predominante es el de llanura, con elevaciones de hasta 160 m s.n.m., que excepcionalmente llegan a los 250 m s.n.m. en el sector sur, hacia las nacientes del arroyo. Existe un ambiente de transición, el piedemonte, que enlaza a los anteriormente mencionados (Varela, 1992; Auge, 1993; Glok-Galli *et al.*, 2023) (Figura 2).

Desde el punto de vista hidrogeológico (Varela, 1992; Glok-Galli *et al.*, 2020, 2023) se reconocen, por un lado, las rocas con permeabilidad secundaria (permeabilidad por fisuración media; Silva Busso y Amato, 2012) que conforman las Sierras de Olavarría del Sistema de Tandilia. Estas son hospedantes de los acuíferos fracturados-kársticos de la zona y afloran en las áreas de relieve más alto: rocas graníticas del basamento cristalino Pale-Mesoproterozoico, llamado Complejo ígneo-metamórfico Buenos Aires; y rocas carbonáticas de la informalmente denominada cubierta sedimentaria Neoproterozoica (calizas del Grupo Sierras Bayas, que subyacen en discordancia al Grupo La Providencia; Arrouy *et al.*, 2015). Por otro lado, los sedimentos Cuaternarios con permeabilidad primaria: sedimentos Pampeanos (Pleistoceno-Holoceno) y Postpampeanos (Holoceno) (Frenguelli, 1950), con permeabilidad clástica baja a media y alta, respectivamente (Silva Busso y Amato, 2012). Estos sedimentos Cuaternarios sobreyacen a las rocas de las serranías del Sistema de Tandilia (Figura 2).

Los sedimentos Pampeanos y Postpampeanos se encuentran vinculados hidráulicamente, conformando el sistema acuífero Pampeano (Figura 2). Presentan granulometría variable, entre arenas y limos con intercalaciones de minerales arcillosos en la parte superior (illita y montmorillonita, con caolinita subordinada) y arena en la parte inferior. Silva Busso y Amato (2012) mencionaron la presencia de grava hacia el sector inferior. Ocasionalmente aparecen niveles de tosca o bien carbonato de calcio (CaCO_3) pulverulento (calcreta) y de ceniza volcánica. La composición mineralógica es principalmente cuarzo, plagioclasas, feldespato potásico con variable cantidad de sílice amorfa en forma de vidrio volcánico, pudiendo aparecer micas y minerales opacos. También se ha descrito la presencia de yeso, halita, calcita y dolomita intra-sedimentarios (Teruggi, 1954; 1957; Dangavsy Blasi, 2002; Quiroz Londoño *et al.*, 2008; Vital *et al.*, 2018).

El acuífero Pampeano se caracteriza por ser libre a semiconfinado en profundidad. Quiroz Londoño y Martínez (2021) especificaron para el mis-

mo un espesor variable entre 20 y 100 m en las zonas centro y SE de la provincia de Buenos Aires.

En el sector central de dicha provincia, Fernández y Frigerio (1984) describieron un espesor de ~ 50 m para este acuífero y ~ 15 m de espesor fisurado en las calizas del Grupo Sierras Bayas. Asimismo, Auge (2004) señaló que “la parte superior del acuífero Pampeano contiene el manto freático, mientras que el grado de confinamiento aumenta con la profundidad, hasta semi-confinarse por debajo de los 40 ó 50 m”. Silva Busso y Amato (2012) propusieron que los acuíferos fracturados-kársticos son probablemente no confinados en las secciones aflorantes de las serranías del Sistema de Tandilia y semi-confinados a confinados donde los sedimentos Pampeanos cubren la zona de piedemonte (Glok-Galli *et al.*, 2020, 2023) (Figura 2).

En la mayoría de los estudios realizados en la región, el modelo hidrogeológico conceptual para el acuífero Pampeano interpreta que la recarga se debe principalmente a la infiltración directa de los excedentes de agua de lluvia (Varela, 1992; Auge, 1993; Glok-Galli *et al.*, 2020, 2023). El flujo regional presenta una dirección NO-N-NE en la zona, recargándose en el sector S y recibiendo aportes locales de agua subterránea desde las sierras, al E y O. La descarga natural del sistema ocurre a través de la red hidrográfica en el arroyo Tapalqué (y sus tributarios), mientras que las salidas de origen antrópico están representadas por la explotación de pozos para la actividad rural y para el suministro urbano (Glok-Galli *et al.*, 2023). Glok-Galli *et al.*

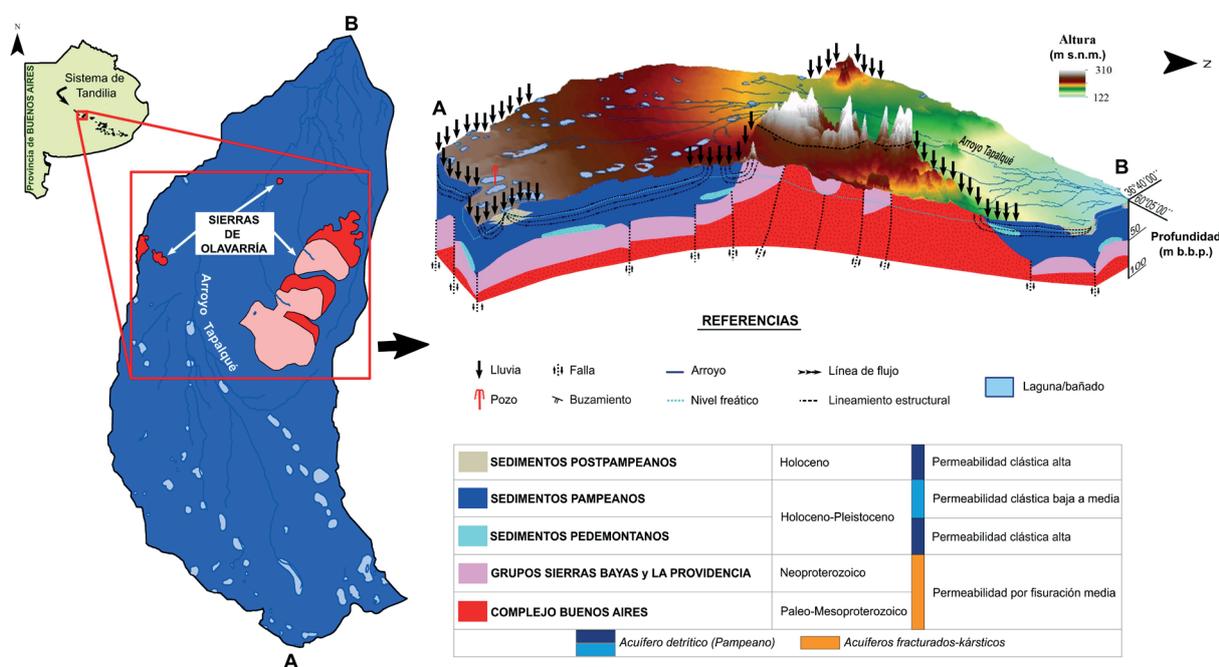


Figura 2. Mapa geológico (izquierda) y modelo geológico/hidrogeológico (derecha; perfil A-B) del área circundante al curso alto-medio del arroyo Tapalqué (sector superior de la cuenca del arroyo Tapalqué -CAT-) (m b.b.p.: metros bajo boca de pozo; m s.n.m.: metros sobre el nivel del mar). Esta figura fue extraída y modificada del trabajo de Glok-Galli *et al.* (2023).

(2020) demostraron por primera vez la importancia del papel hidrológico que tienen también los acuíferos fracturados-kársticos, reconociéndose a los mismos como otra fuente de recarga al acuífero detrítico en las zonas de afloramientos de serranías. De esta manera, los acuíferos Pampeano y fracturados-kársticos se encuentran conectados y su recarga es conjunta, a partir de la precipitación, y/o diferida, cuando el agua de recarga se transfiere desde los acuíferos fracturados-kársticos al acuífero detrítico (Figura 2).

MATERIALES Y MÉTODOS

Con el fin de evaluar la calidad del agua del arroyo Tapalqué, se realizaron 12 determinaciones fisicoquímicas (sitios de muestreo S1-S12) y análisis microbiológicos en 4 de estas muestras (S1, S7, S9 y S12). Las mismas fueron colectadas en noviembre de 2023 en sitios localizados específicamente en los partidos de Benito Juárez y Olavarría. Tres de ellos (S3, S4 y S11) coinciden con los puntos de muestreo acordados al inicio del POAT. Asimismo, se consideraron los niveles de POCs analizados en 7 muestras del arroyo (S3, S4, S11 y S13-S16), tomadas en septiembre de 2017 a lo largo de su recorrido (de S a N) por los partidos de Olavarría y Tapalqué (Figura 1).

Para la caracterización fisicoquímica, las muestras del arroyo se recolectaron en botellas de plástico de 1 L, conservándose refrigeradas y adecuándose para su posterior análisis en los Laboratorios de Agua y Efluentes de la FIO (UNCPBA), siguiéndose los métodos estandarizados (APHA, 1992). Se determinaron dureza total como mg/L de carbonato de calcio (CaCO_3), calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) por titulación complejométrica con EDTA, sodio (Na^+) y potasio (K^+) por espectrometría de absorción atómica, cloruro (Cl^-) por el método de Mohr, bicarbonato (HCO_3^-)-carbonato (CO_3^{2-}) por valoración con ácido clorhídrico y sulfato (SO_4^{2-}) por gravimetría. Además, nitrato (NO_3^-) por potenciometría con electrodo selectivo de membrana, nitrito (NO_2^-) por método espectrofotométrico de diazotación y amonio (NH_4^+) por método espectrofotométrico con reactivo de Nessler. Hierro total (Fe) y cobre (Cu) por espectrometría de absorción atómica. Los parámetros pH, temperatura, conductividad eléctrica (CE), sólidos totales disueltos (STD) y oxígeno disuelto (OD) fueron determinados *in situ*, empleando medidores portátiles.

Se cuantificó la presencia de coliformes termotolerantes (CT) y enterococos fecales (EF) en las muestras del arroyo, así como su relación (CT/EF), para poder inferir el origen de la contaminación: un valor ≥ 4 indicaría una contaminación derivada de residuos urbanos humanos, un valor $\leq 0,7$ se atribuiría a una contaminación predominantemente de origen no humano, y entre 2 y 4 se relacionaría con una polución mezclada, prevalentemente de origen humano (Geldreich y Kenner, 1969). Las muestras se colectaron en frascos estériles y se almacenaron y refrigeraron, procesándose dentro de un período no mayor a 6 h. Los ensayos se desarrollaron en el Labo-

ratorio de Microbiología de la FIO (UNCPBA). La cuantificación de las bacterias se realizó siguiendo los métodos estandarizados (APHA, 1992). Para ello, se efectuaron recuentos mediante la técnica de fermentación en tubos múltiples, para obtener el número más probable (NMP) de bacterias cada 100 mL. Se trabajó con 3 tubos por dilución. Para el análisis de CT se utilizó caldo EC y se incubó a 44,5 °C durante 24 h, luego se realizó la confirmación en caldo verde brillante. Para la cuantificación presuntiva de los EF, se empleó caldo azida glucosa y se incubó a 35 °C, 48 h. Para la confirmación, se realizó un repique de los tubos positivos en agar bilis esculina con azida, se incubó a 35 °C, 48 h y se llevó a cabo la observación microscópica para determinar la presencia de microorganismos compatibles con estreptococos.

Por último, para la determinación cuali-cuantitativa de POCs (endosulfanes, clordanos, heptacloros, dieldrín y diclorodifenildicloroetileno -DDE-) se realizó una campaña de toma de muestras del arroyo en el año 2019. Las mismas se recolectaron por debajo de los 10 cm de profundidad en botellas de vidrio color caramelo con tapa de teflón, preservándose en frío hasta su traslado al laboratorio del ECoA (UNMDP-CONICET), para su posterior análisis por duplicado, dentro de la semana de colecta. Se efectuó una extracción líquido-líquido con hexano: dcm (1:2), seguida por purificación en sílica gel activada según Gonzalez *et al.* (2012). La identificación y cuantificación se llevó a cabo por medio de cromatografía gaseosa con detector de captura electrónica (GC-ECD), según Miglioranza *et al.* (2003). Se utilizó un cromatógrafo Shimadzu-17A equipado con detector de ⁶³Ni y columna capilar DB-5 Supelco de 0,25 μm de espesor de fase, 30 m de longitud y de 0,25 mm de diámetro interno, operada en modo “splitless”. La identificación se realizó de acuerdo a sus tiempos de retención relativa al PCB #103 (estándar interno). Para garantizar la calidad de los análisis se realizaron blancos de laboratorio y material fortificado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respecto a la caracterización fisicoquímica del arroyo Tapalqué, los valores medios (vm) de temperatura y CE obtenidos fueron de 22,4 °C (desviación estándar -DE-: 1,9 °C) y 787 μS/cm (DE: 56,9 μS/cm). Se observó que el pH no presentó grandes cambios a lo largo de su recorrido, caracterizándose por un vm de 8,3 (DE: 0,1). Sin embargo, la disminución en los valores de CE y en los contenidos de STD, cuyo vm es 393,5 mg/L (DE: 28,9 mg/L), evidenció dilución del cauce por aportes externos (afluentes y escorrentías) de baja concentración salina.

Como se muestra en la Figura 3, los valores de OD (vm: 9 mg/L, DE: 1,9 mg/L) disminuyeron desde S1 (zona rural) a S4 (zona periurbana). Esto se debería a una reducción en la cantidad de saltos de agua existentes, lo que impacta en los niveles de oxígeno disuelto. Dentro de la zona urbana, en

S5 se observó un aumento del OD, el cual se redujo manteniendo un valor constante hasta S7, lo que podría atribuirse al aporte de materia orgánica (MO) de un canal tributario de la zona periurbana. En la transición zona urbana-periurbana, entre S7 y S8, un salto de agua favorece la oxigenación del curso, aumentando el valor de OD en S8. En S9 el OD vuelve a disminuir, posiblemente por la presencia de especies químicas poco oxidadas y MO en el sitio de descarga de la PDLC. Entre S9 y S10, el aumento del contenido de OD a valores máximos (12,1 mg/L en S10) podría atribuirse a la morfología del arroyo Tapalqué en esta zona (meandros), la cual favorece la ocurrencia de procesos de mezcla. A partir de S10, los valores de OD disminuyen hasta alcanzar su valor mínimo en S12 (5,2 mg/L), probablemente debido a los aportes de MO ocurridos aguas arriba en S10 (descarga de lixiviados del RSM).

En cuanto a las concentraciones de los iones mayoritarios, se manifiesta en general una leve disminución a lo largo del curso del arroyo Tapalqué, lo que resulta concordante con la dilución de los contenidos de STD, mencionada anteriormente. Los cationes en orden de abundancia (vm y DE, respectivamente) son: Na^+ (174,0 y 17,7 mg/L), Ca^{2+} (44,6 y 4,8 mg/L), Mg^{2+} (8,8 y 2,6 mg/L) y K^+ (0,7 y 0,1 mg/L); y los aniones: HCO_3^- (364,7 y 12,2 mg/L), Cl^- (35,8 y 3,2 mg/L), SO_4^{2-} (35,0 y 7,1 mg/L) y CO_3^{2-} (14,7 y 8,2 mg/L). Esto demuestra la importancia que tienen las aguas del acuífero Pampeano en la composición química del arroyo. Las mismas son clasificadas como de tipo Mg-Ca- HCO_3 , mayoritariamente hacia los sectores S, E y O del área de estudio (zona de recarga regional y local), y como de tipo Na- HCO_3 , principalmente hacia el N (Glok-Galli *et al.*, 2020, 2023).

En relación a la serie de nitrógeno (Figura 3), los contenidos de NO_3^- (vm: 7,1 mg/L, DE: 2,9 mg/L) también evidenciaron la tendencia a la dilución a lo largo del recorrido del arroyo. El S3 presentó el máximo (12,3 mg/L), lo que podría atribuirse al uso de agroquímicos en la zona rural. En S5 se midió el máximo (2,8 mg/L) de NH_4^+ (vm: 0,9 mg/L, DE: 0,6 mg/L), posiblemente debido a los aportes de MO provenientes del canal de la zona periurbana, lo que coincide con lo observado para el OD. Asimismo, este aporte explicaría el incremento de NO_3^- en S6 (por oxidación del NH_4^+ a NO_3^-) en cantidades equivalentes de nitrógeno. En S9 se encontró el mayor valor (1,1 mg/L) de NO_2^- (vm: 0,2 mg/L, DE: 0,3 mg/L), el cual podría asociarse a la descarga de los efluentes de la PDLC. Esto justificaría el aumento posterior en el contenido de NO_3^- (por oxidación de NO_2^- a NO_3^-) detectado en S11.

Por otro lado, el Cu no presenta grandes variaciones en su contenido (entre 0,10 y 0,12 mg/L) a lo largo de la trayectoria del arroyo (Figura 3). Las concentraciones de Fe oscilan entre 0,04 y 0,06 mg/L antes de la zona periurbana de la ciudad de Olavarría. En S5, su contenido aumenta a 0,11 mg/L y, entre S5 y S9, se reduce gradualmente hasta alcanzar valores similares a los iniciales. En S10 (RSM), el contenido de Fe disminuye drásticamente (0,02 mg/L), lo que podría deberse a condiciones puntuales que

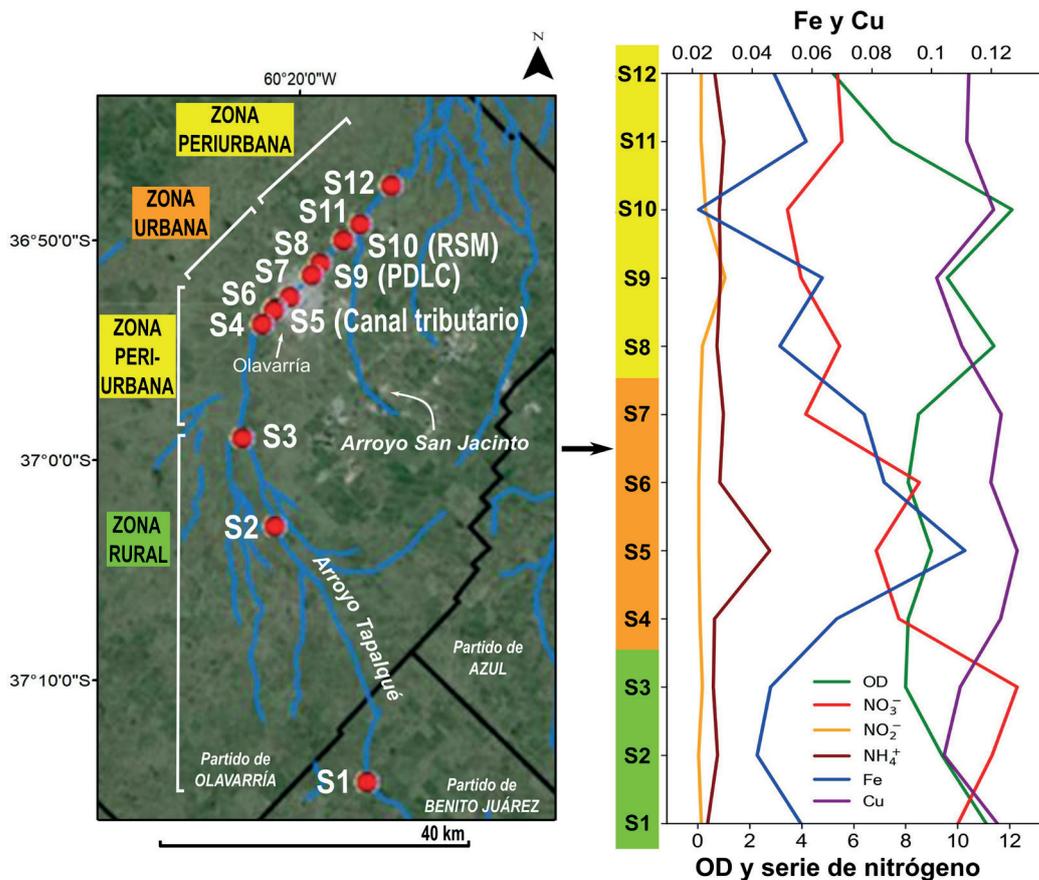


Figura 3. Variación de la concentración (mg/L) de OD, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ (serie de nitrógeno), Fe y Cu a lo largo del recorrido del arroyo Tapalqué por el partido de Olavarría.

requieren un estudio más detallado. Por último, el aumento de su concentración en los sitios posteriores, S11 (0,06 mg/L) y S12 (0,05 mg/L), estaría relacionado con el aporte del arroyo San Jacinto (Figura 3), alcanzándose nuevamente valores equivalentes a los iniciales.

Además, se observó que la calidad bacteriológica del agua del arroyo en los sitios S1, S7, S9 y S12 excedió los límites para uso recreativo de aguas definidos por la ADA (2006) respecto a los niveles de CT (126 NMP/100 mL) y de EF (33 NMP/100 mL), con una relación CT/EF que indicaría una contaminación predominantemente de origen humano (Tabla 1).

Finalmente, a lo largo de su trayectoria por los partidos de Olavarría y Tapalqué, las mayores concentraciones de POCs se detectaron para endosulfán. Si bien estos compuestos químicos están prohibidos a nivel mundial, habiendo sido el endosulfán el último en entrar bajo la regulación del Convenio de Estocolmo, se encuentran presentes en los ambientes acuáticos (Antonious y Byers, 1997). En general, no se observó un aumento en los niveles de POCs de S a N, como se esperaría en un curso superficial que atraviesa una cuenca agrícola, sino que la suma total de los compuestos determinados (endosulfanes, clordanos, heptacloros, dieldrín y DDE) se mantuvo por debajo de los 5 ng/L, con excepción de los sitios de muestreo

Tabla 1. Resultados de las determinaciones bacteriológicas en las aguas del arroyo Tapalqué (**CT**: coliformes termotolerantes, **EF**: enterococos fecales, **NMP/100 mL**: número más probable/100 mL de agua. Los colores verde, naranja y amarillo indican las zonas rural, urbana y periurbana, respectivamente. Ver Figura 1).

Partido	Sitio de muestreo	NMP/100 mL		CT/EF	Origen de la contaminación
		CT	EF		
Olavarría	S1	1.100	93	11,8	Humano
	S7	460	240	1,9	Mixto
	S9	>1.100	150	7,3	Humano
	S12	>1.100	450	2,4	Mixto

Tabla 2. Resultados de niveles (ng/L) de plaguicidas organoclorados (POCs) en las aguas del arroyo Tapalqué (LD: límite de detección. Los colores verde, naranja y amarillo indican las zonas rural, urbana y periurbana, respectivamente. Ver Figura 1).

Partido	Sitio de muestreo	Endo-sulfanes	Clordanos	Heptacloros	Dieldrín	DDE	Total
Olavarría	S3	13,2	<LD	<LD	<LD	<LD	13,2
	S4	0,6	<LD	<LD	<LD	<LD	0,6
	S11	0,9	1,0	0,1	0,5	0,4	2,9
Tapalqué	S13	2,7	0,1	<LD	<LD	<LD	2,8
	S14	1,7	0,04	<LD	<LD	<LD	1,7
	S15	2,8	<LD	<LD	<LD	<LD	2,8
	S16	29,0	0,6	<LD	0,4	0,3	30,3

S3 y S16. En ambos casos, los contenidos de endosulfán, de 13,2 ng/L para S3 y de 30,3 ng/L para S16, se encuentran por encima del nivel guía de calidad a los efectos de protección de la biota acuática aplicable a agua dulce de 7 ng/L (INA, 2004). Esto podría deberse a la actividad agrícola específicamente de la zona rural (S3) y a su influencia en zonas urbanas (S16). La mayor variedad de tipos de POCs, con concentraciones relativamente bajas, se encontró en S11 (zona periurbana), posiblemente como consecuencia de escurrimientos preferenciales desde campos aledaños con historial de uso de agroquímicos. Para los demás sitios de muestreo (S4, S13, S14, S15), los menores valores de POCs analizados responderían a una influencia menos marcada de las actividades agrícolas, con un bajo impacto por el empleo de agroquímicos (Tabla 2) (Miglioranza *et al.*, 2019).

CONCLUSIONES

A partir de la evaluación de la calidad del agua del arroyo Tapalqué, se observó la presencia de contaminación fecal principalmente de origen humano en la fecha de muestreo, excediéndose los límites establecidos para uso recreativo con contacto directo. Además, se encontraron niveles detectables de POCs, coincidentes con sitios en donde las concentraciones de NO_3^- medidas fueron las mayores. Esto podría deberse al uso de agroquímicos en las actividades agrícolas desarrolladas en la cuenca. Las descargas del canal

periurbano, los efluentes de la PDLC y los líquidos lixiviados tratados del RSM inciden de manera negativa en la composición fisicoquímica de este cuerpo de agua superficial, lo que se traduce en bajos valores de OD, altos contenidos de NH_4^+ y NO_2^- , y concentraciones anómalas de Fe.

En este contexto, es evidente la necesidad de continuar con estudios que permitan evaluar, comprender y controlar de manera continua tanto la calidad de los vertidos en los puntos de descarga como la del agua del arroyo, verificando si los resultados obtenidos se corresponden con eventos aislados. Éstos se convertirán en una herramienta esencial para la toma de decisiones, logrando una gestión más eficiente y efectiva del recurso hídrico, y contribuyendo al alcance del ODS 6 y sus metas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo económico de la Agencia Nacional de Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación (Agencia I+D+i, Argentina) a través del PICT-2021-GRF-TI-00342; así como también de la Municipalidad de Olavarría.

BIBLIOGRAFÍA

- Antonious, G.F., Byers, M.E. 1997. Fate and movement of endosulfan under field conditions. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal* 16(4): 644-649. <https://doi.org/10.1002/etc.5620160407>
- Arrouy, M.J., Poiré, D.G., Gómez Peral, L.E., Canalicchio, J.M. 2015. Sedimentología y estratigrafía del Grupo La Providencia (nom. nov.): cubierta superior neoproterozoica, Sistema de Tandilia, Argentina. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 22(2): 171-189.
- Autoridad del Agua (ADA). 2006. Resolución 42/06, del 27/1/2006. B.O.: 16/2/2006.
- APHA (American Public Health Association). 1992. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Ed. N° 18, American Public Health Association, Washington, DC, Estados Unidos. 1.100 pp.
- Auge, M.P. 1993. *Abastecimiento de agua potable a la ciudad de Olavarría, provincia de Buenos Aires. Informe final*. Consejo Federal de Inversiones, Municipalidad de Olavarría, Obras Sanitarias de la provincia de Buenos Aires.
- Auge, M.P. 2004. *Regiones Hidrogeológicas: República Argentina y provincias de Buenos Aires, Mendoza, Santa Fe*. La Plata: Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. E-Book. <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/miguel/RegionesHidrogeol.pdf>
- Dalla Salda, L., Spalleti, L., Poiré, D., De Barrio, R.E., Echeveste, H.J., Benialgo, A. 2006. Tandilia. En: Aceñolaza F. (Ed.) *Temas de la geología Argentina I. Serie de Correlación geológica* 21: 17-46.

- Dangavs, N., Blasi, A. 2002. Los depósitos de yeso intrasedimentario del arroyo El Siasgo, partidos de Monte y General Paz, Prov. Bs. As. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 57(3): 315-327.
- Díaz, O.A., Colasurdo, V., Guzmán, L., Grosman, F., Sanzano, P. 2012. Aspectos preliminares de la calidad del agua del arroyo Tapalqué en la ciudad de Olavarría, provincia de Buenos Aires. *Biología Acuática*. Instituto de Limnología "Dr. R. A. Ringuelet". N° 27: 71-80. ISSN 0326-1638.
- Fernández, A., Frigerio, G. 1984. *Ensayos de Acuíferos en la Universidad Nacional del Centro de Buenos Aires*. Informe AHS, 65, INCyTH, Buenos Aires, Argentina, 33 pp.
- Frenguelli, J. 1950. *Rasgos generales de la morfología y geología de la Provincia de Buenos Aires*. M.O.P., LEMIT, La Plata, Buenos Aires, Argentina. Serie 2: 33.
- Gambero, M.L., Blarasin, M.T., Bettera, S., Giuliano Albo, J. 2018. Tracing contamination sources through phenotypic characterization of *Escherichia coli* isolates from surface water and groundwater in an agro-ecosystem. *Hydrological Sciences Journal* 63(8): 1150-1161. <https://doi.org/10.1080/02626667.2018.1483582>
- Geldreich, E., Kenner, B.A. 1969. Concepts of fecal streptococci in stream pollution. *Journal Water Pollution Control Federation* 41(8): R336-R352. <https://www.jstor.org/stable/25036430>
- Glok-Galli, M., Martínez, D.E., Vadillo-Pérez, I., Silva Busso, A.A., Barredo Codesal, S.P., Quiroz Londoño, O.M., Trezza, M.A. 2020. Multi-isotope ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$ -TDIC, $\delta^{18}\text{O}$ -TDIC, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) and hydrochemical study on fractured-karstic and detritic shallow aquifers in the Pampean region, Argentina. Groundwater Special Issue on Environmental Isotope Applications in the Latin America and Caribbean region (Groundwater Issue). *Isotopes in Environmental and Health Studies* 56(5-6): 513-532. <https://doi.org/10.1080/10256016.2020.1825412>
- Glok-Galli, M., Colasurdo, V., Martínez, D.E., Grosman, F., Quiroz Londoño, O.M., Sanzano, P. 2023. Hydrochemical and isotopic tools to evaluate the groundwater role in the hydrological functioning of a Pampean lake, Buenos Aires province, Argentina (Uso de herramientas hidroquímicas e isotópicas para evaluar el rol del agua subterránea en el funcionamiento hidrológico de una laguna Pampeana, provincia de Buenos Aires, Argentina). *Boletín Geológico y Minero* 134(4): 45-67, ISSN: 0366-0176. <http://dx.doi.org/10.21701/bolgeomin/134.4/003>
- Gonzalez, M., Miglioranza, K.S., Shimabukuro, V.M., Quiroz Londoño, O.M., Martínez, D.E., Aizpún, J.E., Moreno, V.J. 2012. Surface and groundwater pollution by organochlorine compounds in a typical soybean system from the south Pampa, Argentina. *Environmental Earth Sciences* 65: 481-491. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1328-x>
- IIWQ (International Initiative on Water Quality). 2015. *International Initiative on Water Quality: promoting scientific research, knowledge sharing, effective*

- tive technology and policy approaches to improve water quality for sustainable development*. PARIS, UNESCO-International Hydrological Programme (IHP). 27 pp. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000243651>
- INA (Instituto Nacional del Agua). 2004. Niveles Guía Nacionales de Calidad de Agua Ambiente. Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación: *Desarrollos de niveles guías nacionales de calidad de agua ambiente correspondientes a endosulfán*. Niveles Guía Nacionales de Calidad de Agua Ambiente, Argentina. <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/documento45.pdf>
- Kruse, E.E., Rojo, A., Varela, L. 1993. Características Hidroquímicas Subterráneas de la Cuenca del Arroyo Tapalqué (Buenos Aires). *Actas del XII Congreso Geológico Argentino, II Congreso de Exploración de Hidrocarburos Volumen VI*: 208-215.
- Miglioranza, K.S.B., Aizpún de Moreno, J.E., Moreno, V.J. 2003. Dynamics of organochlorine pesticides in soils from a southeastern region of Argentina. *Environmental Toxicology Chemistry* 22(4):712-717. <https://doi.org/10.1002/etc.5620220405>
- Miglioranza, K.S.B., Grondona, S.I., Glok-Galli, M., Díaz, E., Mugnolo, A. 2019. Estudio de plaguicidas organoclorados en la cuenca del arroyo Tapalqué. *Actas de la V RAGSU* (1ra Edición, 242-245). Asociación Argentina de Sedimentología, La Plata, Buenos Aires, Argentina. ISBN 978-987-96296-7-3.
- Mook, G. (Ed.). 2002. *Isótopos ambientales en el ciclo hidrológico*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie Guías y Manuales N° 1. Madrid, España. 596 pp.
- Naciones Unidas. 2015. *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Nágera, J.J. 1940. *Historia Física de la Provincia de Buenos Aires*. Tomo I Tandilia. Biblioteca Humanidades y Ciencias de la Educación. Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Buenos Aires, Argentina. 24: 1-272.
- Quiroz Londoño, O.M., Martínez, D.E., Dapeña, C., Massone, H.E. 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* 166:1113-1127. <https://doi.org/10.1007/s10040-008-0289-y>
- Quiroz Londoño, O.M., Martínez, D.E. 2021. Distribución espacial de isótopos estables en el acuífero Pampeano en el sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Boletín Geológico y Minero* 132(1-2):175-184. ISSN: 0366-0176. <https://doi.org/10.21701/bolgeomin.132.1-2.018>
- Romanelli, A., Soto, D.X., Matiatos, I., Martínez, D.E., Esquius, S. 2020. A biological and nitrate isotopic assessment framework to understand eutrophication in aquatic ecosystems. *Sciences of the Total Environment* 715: 136909. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136909>

- Silva Busso, A.A., Amato, S.D. 2012. Aspectos hidrogeológicos de la región periserrana de Tandilia (Buenos Aires, Argentina). *Boletín Geológico y Minero* 123(1): 27-40.
- Teruggi, M.E. 1954. El mineral volcánico-piroclástico en la sedimentación cuaternaria argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* IX (3): 184-191.
- Teruggi, M.E. 1957. The nature and origin of Argentine Loess. *Journal of Sedimentary Petrology* 27(3): 322-332.
- Varela, L.B. 1992. Escurrimiento subterráneo en la cuenca del arroyo Tapalqué. En: Dres. López, H.L. y Tonni, E.P. *Situación Ambiental de la Provincia de Buenos Aires. A. Recursos y rasgos naturales en la evaluación ambiental*. Año II, N° 11, 15 pp. CIC, Prov. Bs. As.
- Vital, M., Daval, D., Clément, A., Quiroga, S., Fritz, B., Martinez, D.E. 2018. Importance of accessory minerals for the control of water chemistry of the Pampean aquifer, province of Buenos Aires, Argentina. *Catena* 160: 112-123. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.09.005>
- Winter, T.C. 1999. Relation of streams, lakes, and wetlands to groundwater flow systems. *Hydrogeology Journal* 7: 28-45.