

# EFFECTOS DE LAS TRANSFORMACIONES TERRITORIALES (2003 – 2023) SOBRE LA HIDRODINÁMICA DE LOS ACUÍFEROS PAMPEANO Y PUELCHE EN LA REGIÓN DEL GRAN LA PLATA

Felipe Herrera Niño<sup>\*,\*\*</sup>; Maximiliano Fabiano<sup>\*</sup>, Daiana Dell' Arciprete<sup>\*,\*\*</sup>; Patricia Laurencena <sup>\*</sup>,  
Eduardo Kruse <sup>\*,\*\*</sup>

\* Centro de Estudios Integrales de la Dinámica Exógena (CEIDE), Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, 64 N°3, La Plata, Argentina. E-mail: Felipe.herrera@fcnym.unlp.edu.ar

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

## Resumen

Este estudio examina los efectos de las transformaciones territoriales sobre la hidrodinámica de los acuíferos Pampeano y Puelche en la región del Gran La Plata, Argentina, entre 2003 y 2023. Se utilizaron imágenes satelitales Landsat para analizar los cambios en el uso/cobertura del suelo, y se elaboraron mapas hidrodinámicos para ambos períodos. Los resultados muestran una expansión urbana de 42,8 km<sup>2</sup> (21,9%) y un aumento de tierras de cultivo de 46,3 km<sup>2</sup> (23,7%), en detrimento de 93,3 km<sup>2</sup> (47,8%) de coberturas naturales. Estos cambios, junto con un incremento poblacional del 35% han influido en los descensos registrados en los niveles freáticos y piezométricos. El Pampeano experimentó una profundización máxima de 0 msnm a -10 msnm, mientras que el Puelche pasó de -5 msnm a -20 msnm. La producción de agua subterránea para abastecimiento público aumentó un 48%, de 75 hm<sup>3</sup>/año en 2003 a 111 hm<sup>3</sup>/año en 2023. El estudio concluye que las transformaciones territoriales han ejercido presión sobre los recursos hídricos subterráneos, evidenciando la necesidad de implementar estrategias de planificación territorial que promuevan un desarrollo urbano-productivo más sostenible y compatible con la preservación del agua subterránea en la región.

**Palabras Claves:** acuíferos, cambio de uso del suelo, hidrodinámica, urbanización, Gran La Plata.

## Abstract

This study examines the effects of territorial transformations on the hydrodynamics of the Pampeano and Puelche aquifers in the Gran La Plata region, Argentina, between 2003 and 2023. The objectives include identifying and quantifying land cover changes, comparing the aquifers' hydrodynamic configuration and evaluating the relationship between these changes and hydrodynamic variations. Landsat satellite images were used to analyze changes in land use and cover (LULC), and hydrodynamic maps were developed. The results show an urban expansion of 42.8 km<sup>2</sup> (21.9%) and an increase in cropland of 46.3 km<sup>2</sup> (23.7%), resulting in a reduction of 93.3 km<sup>2</sup> (47.8%) of natural cover. These changes, along with a 35% population increase, have induced declines in phreatic and piezometric levels. The Pampeano aquifer experienced a maximum deepening from 0 masl to -10 masl, while the Puelche went from -5 to -20 masl. Groundwater production for public supply increased by 48%, rising from 75 hm<sup>3</sup>/year (2003) to 111 hm<sup>3</sup>/year (2023). The study concludes that territorial transformations have exerted pressure on groundwater resources, highlighting the need to implement territorial planning strategies that promote more sustainable urban-productive development.

**Keywords:** aquifers, land use change, hydrodynamics, urbanization, water management.

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento urbano está aumentando rápidamente en varias regiones del mundo y causando numerosos problemas socioambientales (Kalhor y Mahdisoltani, 2015). En consecuencia, la gestión de los recursos hídricos en grandes ciudades, como una de las estrategias más vitales, se ha vuelto compleja y desafiante. En las últimas décadas, la urbanización y el cambio en la cobertura del suelo se han convertido en preocupaciones cada vez más cruciales y controvertidas en las discusiones políticas, sociales y académicas (Haase, 2009).

Coincidente con el aumento poblacional y el desarrollo socioeconómico a nivel mundial, se incrementó la demanda de agua dulce mediante aportes subterráneos, ya sean como fuente principal o complementaria. En este contexto, la recarga de agua subterránea se convierte en un componente fundamental para la sostenibilidad de este recurso y un gran desafío para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de la ONU. En este marco, es necesario encontrar el equilibrio adecuado entre la extracción y la recarga de agua subterránea, con el fin de asegurar la preservación a largo plazo de los acuíferos. Sin embargo, este proceso es altamente vulnerable a factores tanto naturales (climáticos) como antropogénicos. Los Cambios en el Uso/Cobertura del Suelo (CUCS) constituyen una de las intervenciones humanas con mayor impacto en el ciclo hidrológico. Estos cambios modifican la capacidad del suelo para absorber agua, afectando directamente la infiltración natural y acelerando los procesos de escorrentía superficial (Kruse *et al.* 2003). Las variaciones en la superficie terrestre pueden producirse a largo plazo, abarcando años o décadas, o estar relacionadas con ciclos estacionales más cortos (Verbesselt *et al.*, 2010). Los cambios a largo plazo se deben principalmente a transformaciones territoriales como la expansión agrícola, la urbanización, la desertificación y la disminución de bosques (Vogelmann *et al.*, 2016).

Este tipo de dinámicas y transformaciones en el territorio dificultan estimar la recarga de los acuíferos en diferentes ubicaciones y con climas variables. Por lo tanto, comprender la respuesta de los sistemas de agua subterránea a los CUCS es crucial para gestionar adecuadamente este valioso recurso y contribuir con la seguridad hídrica.

En la región del Gran La Plata, Argentina, existen estudios científicos que analizan la variabilidad temporal y espacial del agua subterránea. Sin embargo, a nivel regional no existe una evaluación detallada sobre cómo las variaciones en la cobertura terrestre modifican los niveles de agua subterránea. En este contexto, resulta prioritario comprender adecuadamente la relación entre las transformaciones territoriales y las variaciones hidrodinámicas en la región. Por ello, el presente estudio propone como objetivo general examinar los efectos espacio-temporales que han producido los CUCS sobre la hidrodinámica de los acuíferos Pampeano y Puelche en el Gran La Plata entre 2003 y 2023. Para lograrlo se definieron tres objetivos específicos: 1) Identificar y cuantificar los cambios de diferentes tipos de cobertura del suelo a lo largo del período de estudio. 2) Definir y comparar la configuración hidrodinámica de los principales acuíferos de la región entre ambas fechas, y 3) Evaluar la relación entre los CUCS y las variaciones hidrodinámicas, y 4) Comparar el incremento en la demanda y producción de agua potable del sistema de aprovisionamiento vía red pública.

Los resultados de este estudio podrían ser útiles para identificar dinámicas territoriales y delimitar zonas de mayor afectación, que sirvan como insumos para la planificación de estrategias y políticas relacionadas con el manejo de los recursos del suelo y el agua.

### Área de estudio

La zona de estudio se localiza en el noreste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, en las proximidades del estuario del Río de la Plata. Se encuentra delimitada por un conjunto de cuencas hídricas que drenan hacia el Río de la Plata en los partidos de La Plata, Berisso, Ensenada (Gran La Plata) y una pequeña parte del partido de Magdalena. Cubre un área total de 900 km<sup>2</sup>. Estas cuencas son la de los arroyos Martín-Carnaval, Rodríguez-Don Carlos, El Gato, Maldonado, Garibaldi y El Pescado (Fig. 1). La mayoría posee un moderado a alto grado

de intervención antrópica, mientras que en la cuenca del Pescado predominan sus condiciones naturales. El Gran La Plata como aglomerado urbano posee 933.397 habitantes (INDEC, 2023). Esto lo convierte en uno de los centros urbanos más poblados del país. Esta demarcación territorial se distingue por su pujante dinamismo económico, agrícola y demográfico, albergando importantes centros administrativos, educativos, deportivos y culturales.

Desde el punto de vista geomorfológico, tradicionalmente se han diferenciado dos zonas geomórficas distintas: la planicie continental, llanura alta o zona interior (Fidalgo y Martínez 1983) y la planicie costera o llanura costera marginal (Fidalgo y Martínez, 1983; Cavalotto 1995). La primera se caracteriza por altitudes que varían entre los 5 a 30 msnm, con suelos de texturas limo-arenosas, mientras que en la segunda oscilan entre los 5 y 0 msnm con suelos arcillosos. El límite entre ambas divisiones está representado por un paleocantilado situado aproximadamente a los 5 msnm (Cappannini y Mauriño, 1966), que a su vez divide aproximadamente el partido de la Plata al sur de Berisso y Ensenada al norte.

El clima del área es templado-húmedo, con precipitaciones medias anuales de 1.047 mm/año, y temperatura media de 16,25°C (Zanandrea, 2021).

La hidrogeología de la región se conforma por un sistema acuífero multicapa donde se destacan las unidades acuíferas Pampeano y Puelche, separadas por un nivel limo-arcilloso que funciona como un acuitardo. El Pampeano es un acuífero libre de mediana productividad, del cual se extrae agua para consumo doméstico, riego y suministro para el ganado en áreas rurales. Por su parte, el acuífero Puelche es semiconfinado y de alta productividad, siendo el más aprovechado tanto en zonas rurales, periurbanas como urbanas (Auge, 2005). Actualmente, este abastece gran parte de la población servida con agua de red pública, y se usa para riego agrícola, consumo doméstico en zonas sin cobertura de red y en menor medida para fines industriales y recreativos. Es una región que posee una fuerte dependencia de la fuente hídrica subterránea para diversos usos.

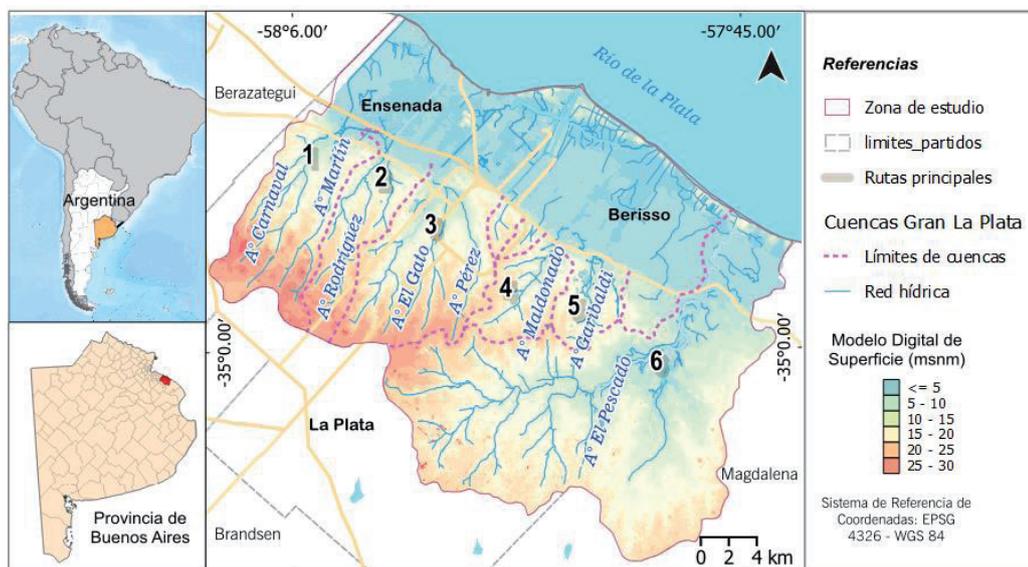


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio: El Gran La Plata.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología aplicada se basó en tres etapas: 1) Elaboración de mapas de uso de suelo y detección de cambios de las fechas 2003 y 2023, 2) Confección de mapas hidrodinámicos de los acuíferos Pampeano y Puelche, y 3) Análisis de la influencia de los Cambios de Uso/Cobertura de Suelo (CUCS) en la configuración hidrodinámica, junto con la cuantificación y comparación de la producción de agua vía red pública en ambos periodos.

En una primera etapa se procesó una colección de imágenes satelitales Landsat 7 TM (año 2003) y Landsat 9 OLI/TIRS (año 2023) desde la plataforma geomática *Google Earth*

*Engine* (Gorelick *et al.*, 2017). Para cada fecha de análisis, se obtuvo una imagen promedio, corregida atmosféricamente y sin nubosidad. Posteriormente, se realizó una clasificación supervisada considerándose 6 categorías: cuerpos de agua, pastizales, vegetación arbórea, humedales, urbanización de alta densidad, urbanización de baja densidad, tierra de cultivos y cultivos bajo cubierta. Luego, se seleccionaron áreas de entrenamiento para el aprendizaje y mapeo automatizado desde múltiples fuentes, que incluyen mapas antecedentes de uso/cobertura, interpretación visual a partir de imágenes de *Google Earth* y puntos de campo tomados en diciembre de 2023. Del total de polígonos delimitados se tomó el 70% para el entrenamiento y el 30% para validación. La exactitud de la clasificación final se evaluó mediante los parámetros de precisión global e índice kappa. Seguidamente, con el complemento *Semi-automatic Classification* (SCP) del software QGIS, se realizó la detección de cambios, obteniendo como resultado una tabla de contingencia con información cuantitativa y un archivo ráster que permite el análisis cualitativo de la dirección y patrones de cambio.

En la segunda etapa se analizó información hidrogeológica de dos fuentes. Para 2003 se procesaron datos de pozos relevados por Auge *et al.* (2004) y para 2023 se realizó una campaña de monitoreo donde se censaron 55 pozos del acuífero Pampeano y 60 del Puelche. En ambos casos, para unificar una misma fuente de información, las mediciones fueron acotadas empleando un Modelo Digital de Superficie provisto por la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas – UNLP y publicado por Karol y San Juan (2018). Seguidamente, se utilizó la técnica de interpolación geoestadística del krigeado ordinario para estimar los datos de niveles freáticos y piezométricos en toda la extensión del área de estudio. La adecuación y validez de este modelo se evaluó con la técnica de validación cruzada, que compara los datos observados en campo con los estimados por el modelo, obteniéndose los parámetros Error Medio Absoluto (EMA) y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ). Los mapas obtenidos representan la variación de los niveles del agua subterránea de cada acuífero en los dos periodos definidos.

La tercera etapa consistió en el análisis y correlación de la variación espacio-temporal entre la información resultante de uso/cobertura de suelo y los mapas hidrodinámicos. Esta superposición permitirá comprender la relación e influencia del CUCS sobre los patrones de variación hidrodinámica de los acuíferos. De forma complementaria se incorporaron datos poblacionales de los censos nacionales 2001 y 2022 (INDEC 2001; 2023), y se comparó entre ambas fechas información cuantitativa de la producción y consumo per cápita de agua potable del sistema de aprovisionamiento por red pública. Para 2003 se emplearon datos publicados por Auge *et al.* (2004) mientras que los del 2023 proceden de informes gubernamentales del Ministerio de Infraestructura y Obras Públicas (MINFRA, 2021).

## RESULTADOS

### Cambio de uso/cobertura de suelo en el Gran La Plata (2003- 2023)

La evaluación de precisión indica que el mapa de 2003 tiene una precisión global del 91% y un coeficiente kappa de 0,86, mientras que el mapa de 2023 presenta una precisión general del 89% y un coeficiente kappa de 0,83. Estos parámetros indican que ambas clasificaciones tienen buena precisión. La variación espacio-temporal del uso/cobertura del suelo entre 2003 y 2023 se ilustra en la Figura 2. En general, las áreas edificadas (urbanas de alta y baja densidad), las tierras de cultivo y los cultivos bajo cubierta experimentaron expansiones significativas. Por el contrario, las coberturas de pastizales y vegetación riparia sufrieron grandes pérdidas. Las categorías de agua, estrato arbóreo, áreas industriales y suelo desnudo no manifestaron grandes cambios. La cuantificación de los cambios absolutos (en  $\text{km}^2$ ) y relativos (%) se resume en el Gráfico 1. Estos resultados evidencian una tendencia de urbanización acelerada e intensificación agrícola en espacios periurbanos y rurales platenses a expensas de áreas de vegetación natural.

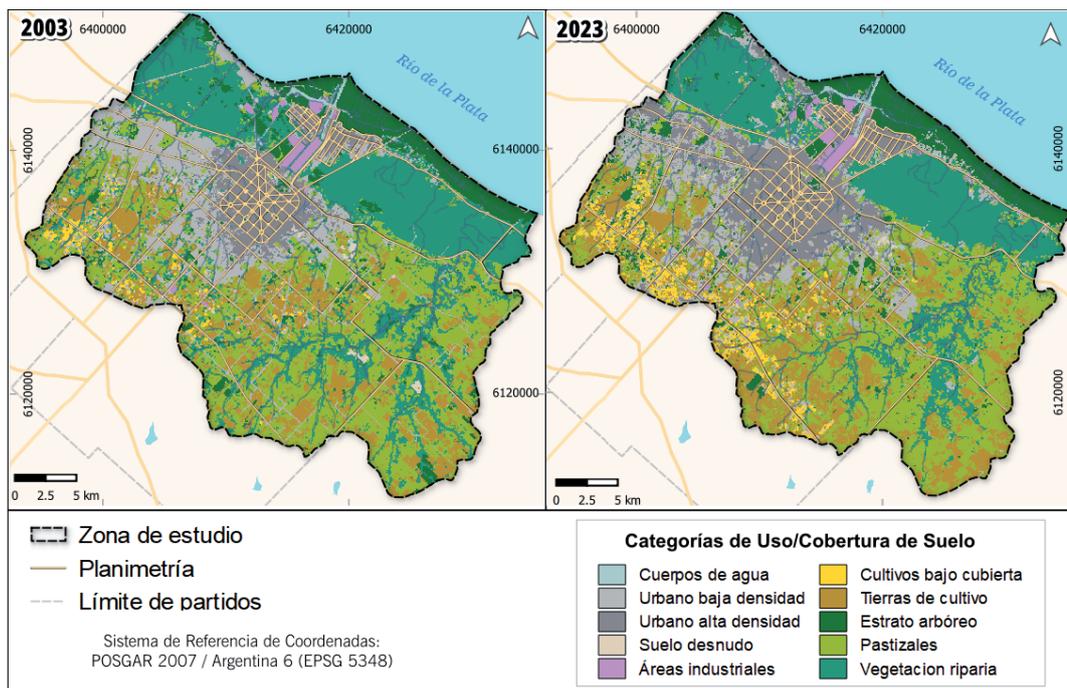


Figura 2. Mapas de uso/cobertura de suelo del año 2003 (izquierda) y 2023 (derecha) de la región del Gran La Plata.

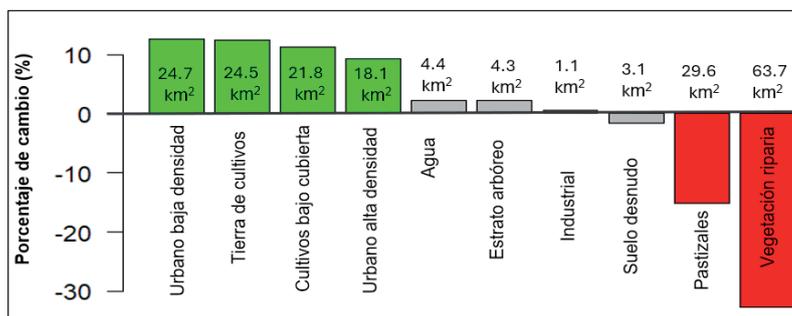


Gráfico 1. Pérdidas y ganancias por categoría de uso/cobertura de suelo entre 2003 y 2023 en la región del Gran La Plata.

### Hidrodinámica de los acuíferos Puelche y Pampeano (2003-2023)

Los valores del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) obtenidos de la validación cruzada fueron: 94.6 % (acuífero Pampeano 2003), 87.6 % (acuífero Puelche 2003), 91.5 % (acuífero Pampeano 2023) y 88.2 % (acuífero Puelche 2023). Estos resultados de regresión son significativos. Los valores de Error Medio Absoluto (EMA) en todos los casos fueron cercanos a 2. Por tanto, el alto  $R^2$  y el bajo EMA sugieren que la profundidad del agua subterránea puede modelarse con un alto grado de confianza. La figura 3 muestra para cada fecha los mapas isofreáticos e isopiécicos elaborados. Los mismos evidencian que a nivel regional en los 20 años la profundidad del agua subterránea de ambos acuíferos se ha incrementado. En esencia, se observa una zona de descenso diferencial. En 2003, existía un cono de depresión de menor desarrollo en los dos acuíferos, delimitado por la curva de referencia de 0 msnm y de área de 34 km<sup>2</sup> en el Pampeano y 130 km<sup>2</sup> en el Puelche. No obstante, en 2023 este evolucionó considerablemente hacia el sector suroccidental, expandiéndose hasta 173 km<sup>2</sup> en el Pampeano, y 315 km<sup>2</sup> en el Puelche; con profundidades máximas superiores a los -10 y -20 msnm, respectivamente.

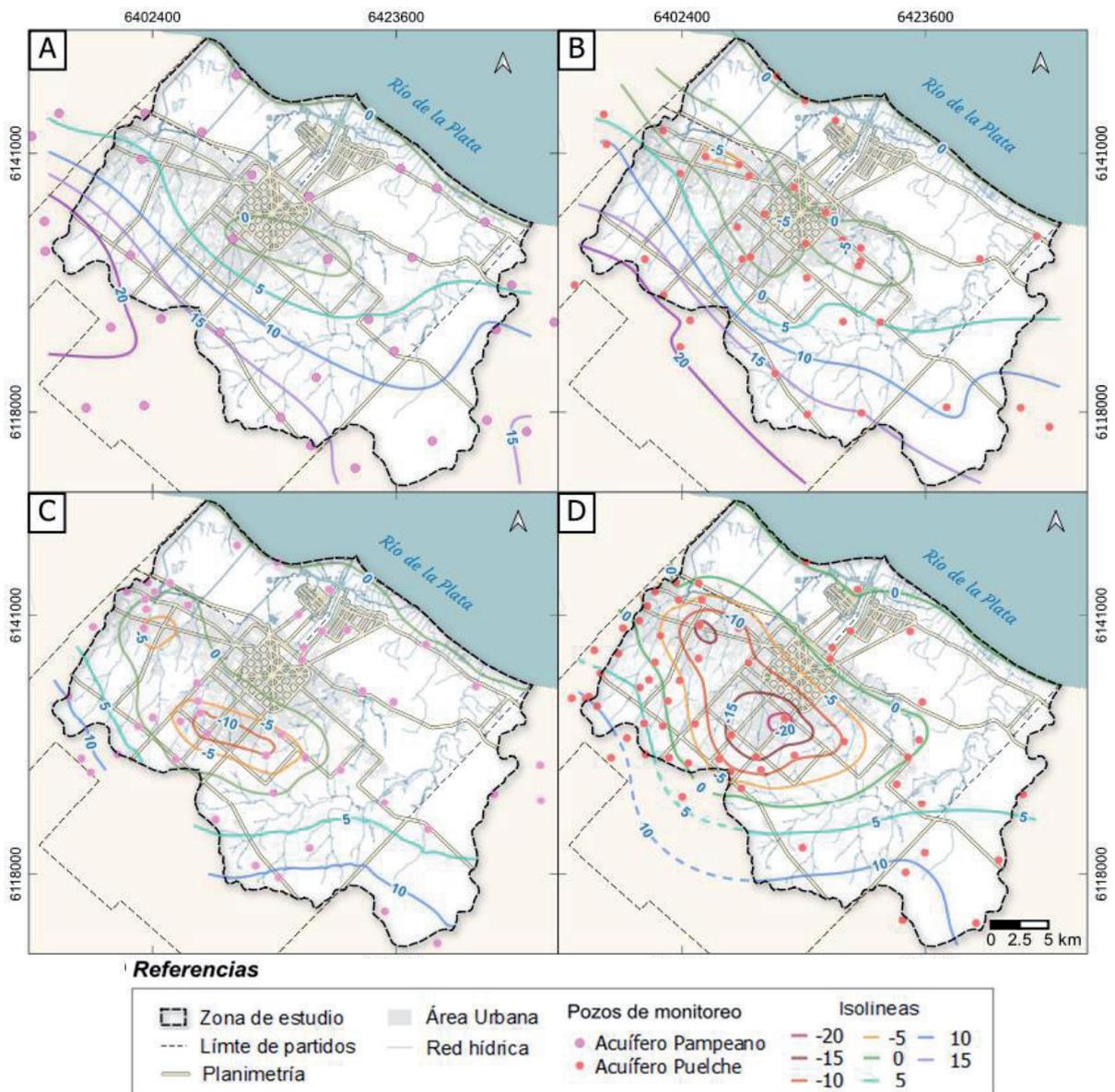


Figura 3. Mapas hidrodinámicos de los principales acuíferos del Gran La Plata: A) Acuífero Pampeano en 2003, B) Acuífero Puelche en 2003, C) Acuífero Pampeano en 2023 y D) Acuífero Puelche en 2023.

### Influencia de las transformaciones territoriales sobre la hidrodinámica regional

Los cambios de uso/cobertura del suelo entre 2003 y 2023 en la región del Gran La Plata se caracterizaron por un avance de las áreas urbanizadas de 42,8 km<sup>2</sup> (21,9%), una expansión de las tierras de cultivo y cultivos bajo cubierta de 46,3 km<sup>2</sup> (23,7%), en detrimento de 93,3 km<sup>2</sup> (47,8%) de coberturas naturales como pastizales y vegetación riparia, esta última presente en los bañados costeros y de desborde fluvial. Este proceso de urbanización estuvo acompañado por un incremento demográfico del 35% (242.133 habitantes) entre los censos nacionales de 2001 y 2022. Estas dinámicas territoriales han sido uno de los principales factores que motivaron los descensos generalizados de los niveles freáticos y piezométricos. En este sentido, en el acuífero Pampeano las mayores profundidades pasaron de 0 msnm en 2003 a -10 msnm en 2023. El Puelche, por su parte, evidenció un patrón similar, pero de mayor magnitud, con niveles que alcanzaban los -5 msnm en 2003 a -20 msnm en 2023.

Entre 2003 y 2023, en respuesta al crecimiento poblacional y la consecuente mayor demanda de agua potable, el sistema de abastecimiento de agua vía red pública experimentó

fuerzas variaciones en el volumen de captación, tanto de fuente superficial del Río de la Plata como subterránea proveniente del acuífero Puelche. En la tabla 1 se muestra esta comparación en hm<sup>3</sup>/año y en porcentaje (%). El aumento total del volumen de producción fue del 80%. La captación de agua subterránea para la red pública pasó de 75 hm<sup>3</sup>/año en 2003 a 111 hm<sup>3</sup>/año en 2023, lo cual representa un 48% más de lo que se producía en 2003. No obstante, debido a la antigüedad media de 60 años de las cañerías existen actualmente grandes fugas de agua estimadas en un 45%. Por ello, gran parte del agua que circula por el sistema de red retorna al sistema subterráneo sin un adecuado aprovechamiento.

Tabla 1. Comparativa de la producción y consumo per cápita de agua potable red pública.

<b>Año</b>	<b>2003</b>		<b>2023</b>	
Número de pozos operativos	137		254	
Caudal de bombeo (m3/h)	62		50	
<b>Producción de agua red pública</b>	<b>(hm3/año)</b>	<b>%</b>	<b>(hm3/año)</b>	<b>%</b>
Subterránea (acuífero Puelche)	75	60 %	111	49 %
Superficial (Río de La Plata)	50	40 %	114	51 %
<i>Total</i>	125	100%	225	100 %
Pérdidas por cañerías estimadas	18.75	15 %	101	45 %
Volumen ajustado (hm <sup>3</sup> /año)	106	85 %	124	55 %
Población con red pública	622.442	90 %	800.147	86 %
Consumo per cápita (litros/día)	468		424	

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran una estrecha relación entre las transformaciones territoriales y sus efectos sobre la hidrodinámica de los principales acuíferos en el Gran La Plata durante las últimas dos décadas. Este trabajo aporta evidencia empírica a la comprensión de las interrelaciones entre los cambios antrópicos en el uso/cobertura del suelo y las variaciones en los niveles de agua subterránea a escala regional.

Se encontró una estrecha vinculación entre el avance de la urbanización e intensificación agrícola con el descenso de los niveles de agua en ambos acuíferos, utilizados como fuente de agua potable y de riego. Particularmente, se evidenció un desacoplamiento entre la oferta de agua subterránea y la mayor demanda hídrica para satisfacer las necesidades de la población y de las actividades productivas en el Gran La Plata. La expansión urbana, evidenciada por un aumento de 42,8 km<sup>2</sup> (21,9 %) de superficie construida y el incremento demográfico del 35%, implicaron una mayor extracción de agua subterránea. Esto se vio reflejado en el aumento del 48% en la producción de agua potable por red pública entre 2003 y 2023, periodo durante el cual los pozos operativos de la red pública casi se duplicaron.

Cabe destacar que, si bien este estudio no evaluó los efectos climáticos, la disminución de las precipitaciones habría actuado sinérgicamente con las transformaciones territoriales, acentuando aún más la menor recarga de los acuíferos. En consecuencia, se torna prioritario incorporar otras variables en futuros análisis para una comprensión más holística de los factores que modulan la dinámica de los recursos hídricos subterráneos.

Pese a estas limitaciones, la presente investigación se destaca por el empleo de técnicas robustas de detección de cambios y modelado hidrodinámico, que permitieron una caracterización espacio-temporal consistente de las variaciones territoriales e hidrogeológicas a escala regional. Este estudio aporta una base sólida para futuras investigaciones que puedan profundizar en la comprensión de los procesos hidrodinámicos a escala regional en regiones sometidas a transformaciones territoriales. Es recomendable ampliar el análisis a otros factores que puedan influir en la recarga y explotación de los acuíferos, como las variaciones climáticas y las políticas de uso del suelo. Finalmente, es importante desarrollar y aplicar modelos predictivos que permitan anticipar los efectos de diferentes escenarios de desarrollo y cambio climático sobre los recursos hídricos subterráneos.

Es necesario implementar un monitoreo ambiental continuo y el cumplimiento de estrategias integradas de planificación territorial que promuevan un desarrollo urbano-productivo más sostenible, compatible con la preservación y uso racional del agua subterránea en la región.

## REFERENCIAS

- Auge, M., Hirata, R., y Vera, F. L.** (2004). *Vulnerabilidad a la contaminación por nitratos del acuífero puelche en La Plata, Argentina*. 187 p. Informes del Centro de Estudios de América Latina (CEAL).
- Auge, M.** (2005). *Hidrogeología de La Plata, Provincia de Buenos Aires*. XVI Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 293-312. La Plata, Argentina. 480 págs. ISBN 968-496-500-4. <http://meran.fcv.unlp.edu.ar/meran/opac-detail.pl?id1=6999>
- Cappannini, D. y Mauriño, V.** (1966). *Suelos de la zona litoral estuárica comprendida entre las ciudades de Buenos Aires al norte y La Plata al sur (Provincia de Buenos Aires)*. INTA, 2. Colección Suelos.
- Cavallotto, J.** (1995). *Evolución Geomorfológica de la Llanura Costera del Margen Sur del Río de La Plata*. [Tesis Doctoral]. Universidad Nacional de La Plata (inédita), 237 p., La Plata.
- Fidalgo, F. y Martínez, O.** (1983). Algunas características geomorfológicas dentro del Partido de La Plata (Buenos Aires). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 38: 263-279.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R.** (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*.
- Haase, D.** (2009). *Effects of urbanisation on the water balance – A long-term trajectory*. *Environmental Impact Assessment Review*, 29(4), 211-219. doi:10.1016/j.eiar.2009.01.002
- INDEC.** (2001). Censo Nacional Poblacional, Hogares y Viviendas 2001. Disponible en: <https://www.indec.gob.ar/>
- INDEC.** (2023). Censo Nacional Poblacional, Hogares y Viviendas 2022. Disponible en: <https://www.indec.gob.ar/>
- Kalhor, K., y Mahdisoltani, M.** (2015). *Urbanization and its Effects on the Environment and Society Along with Sustainable Development*.
- Karol, J., y San Juan, G.** (2018). *Saber qué hacer: construcción de un sistema para la gestión integrada del riesgo hídrico en la región del Gran La Plata*. Eds. Jorge L. Karol. ISBN 978-950-34-1611-2
- Kruse, E., Laurencena, P., Deluchi, M., Varela, L., Rosales, E., y Albina, L.** (2003). *Relación hidroquímica superficial-subterránea en cuencas de llanura*. III Congreso de Hidrogeología y I Seminario Hispano-Latinoamericano sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Rosario, 23 al 26 de septiembre de 2003.
- MINFRA.** (2021). Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos. Evaluación de Estudio de Impacto Ambiental y Social (EIAS): “*Recambio de cañerías de la Red de abastecimiento de agua potable en la Ciudad de La Plata*”.
- Verbesselt, J., Hyndman, R., Newnham, G., y Culvenor, D.** (2010). *Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series*. *Remote Sens. Environ.* 114, 106–115. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.08.014>.
- Vogelmann, J.E., Gallant, A.L., Shi, H., y Zhu, Z.** (2016). Perspectives on monitoring gradual change across the continuity of Landsat sensors using time-series data. *Remote Sens. Environ.* 185, 258–270. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.060>.
- Zanandrea, J. F.** (2021). *Variaciones del nivel freático en la cuenca del arroyo El Pescado: Periodo 2017-2018*. [Trabajo Final de Licenciatura]. Universidad Nacional de La Plata. Disponible en: <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/143167>.