

RESUMEN EXTENDIDO
ESPACIOS VERDES Y SUELOS COMO ALIADOS EN LA FUNCIÓN DE REGULACIÓN URBANA EN UN CONTEXTO DE CAMBIO GLOBAL
Valdemarca, Agustina^{1,2}; Lorenz, Guido²

1. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Argentina
2. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Forestales, Santiago del Estero, Argentina

OPEN ACCESS

Cita: Valdemarca, A^{*1}, Lorenz, G² (2026) Espacios verdes y suelos como aliados en la función de regulación hídrica urbana en un contexto de cambio global. RASADEP 14(1) 1-8

* Autora correspondiente:
agu.valdemarca@gmail.com

Editor: Marcelo Gandini,
Universidad Nacional del Centro
de la Provincia de Buenos Aires.
Azul, ARGENTINA

Recibido: 1 de febrero de 2026
Aceptado: 7 de abril de 2026
Publicado: 7 de junio de 2026

Este es un artículo de acceso abierto, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite al autor original y la fuente.

Financiación: Los y las autoras no expresan haber recibido financiación específica para este trabajo.

Conflictos de interés: Los autores han declarado no tener conflictos de interés.

RESUMEN

La rápida urbanización, en un contexto de cambio climático, incrementa la vulnerabilidad de las ciudades frente a inundaciones. En este escenario, los espacios verdes públicos cumplen un rol clave en la regulación hídrica a través de la infiltración de agua en el suelo. Este estudio evaluó la conductividad hidráulica (K) en espacios verdes de la ciudad de La Banda (Santiago del Estero, Argentina), considerando tres tipologías representativas (plazas, platabandas y veredas) y dos microambientes contrastantes según impacto antrópico, en barrios diferenciados por edad y contexto sociocultural. La infiltración se midió con un mini-infiltrómetro de tensión y K se estimó mediante el método de Zhang. Complementariamente se estimó la cobertura verde a escala barrial mediante imágenes Sentinel-2 y el índice NDVI. Los resultados evidenciaron valores significativamente menores de K en microambientes alterados respecto a los protegidos, mientras que la tipología de espacio verde no explicó variaciones relevantes y las diferencias entre barrios fueron mínimas. Los resultados muestran que existe un gran potencial de mejora del servicio de regulación hídrica por parte de los suelos urbanos, a través de su gestión y cuidado, aspecto que debería ser incorporado en los criterios de planificación urbana y diseño de infraestructura verde.

Palabras clave: servicios ecosistémicos - conductividad hidráulica - infiltración - infraestructura verde

ABSTRACT

Rapid urbanization, in the context of climate change, increases the vulnerability of cities to flooding. In this scenario, public green spaces play a key role in hydrological regulation through water infiltration into the soil. This study evaluated hydraulic conductivity (K) in green spaces of the city of La Banda (Santiago del Estero, Argentina), considering three representative typologies (squares, median strips, and sidewalks) and two contrasting microenvironments according to anthropogenic impact, in neighborhoods differentiated by age and sociocultural context. Infiltration was measured using a tension mini-infiltrometer, and K was estimated using the Zhang method. Additionally, green cover at the neighborhood scale was estimated using Sentinel-2 imagery and the NDVI index. The results showed significantly lower K values in altered microenvironments compared to protected ones, while green space typology did not explain relevant variations and differences among neighborhoods were minimal. The findings indicate a substantial potential to enhance the hydrological regulation service provided by urban soils through their management and maintenance, an aspect that should be incorporated into urban planning criteria and green infrastructure design.

Keywords: ecosystem services - hydraulic conductivity - infiltration - green infrastructure

INTRODUCCIÓN

En América Latina y el Caribe, aproximadamente el 82 % de la población reside en áreas urbanas, posicionándola entre las regiones más urbanizadas del mundo (United Nations, 2022). Por lo tanto, la creación de entornos habitables y saludables es uno de los desafíos más críticos de nuestra era (Elmqvist, 2013). La expansión urbana acelerada conlleva alteraciones profundas en los procesos naturales y en la calidad ambiental (McGrane, 2018), siendo el sellado del suelo una de las transformaciones más disruptivas, modificando drásticamente el ciclo hidrológico, al sustituir suelos con capacidad de drenaje por superficies impermeables (Scalenghe & Marsan, 2009). Esta pérdida incrementa la escorrentía superficial, trayendo consecuencias negativas como inundaciones, propagación de enfermedades y contaminación de aguas (Haase, 2014; Pappalardo et al., 2018). En este escenario, adquieren una importancia estratégica aquellos espacios urbanos cuyos suelos permanecen expuestos, especialmente las áreas verdes, al actuar como focos críticos de infiltración (Argañaraz & Lorenz, 2010). A pesar de la relevancia ecológica de la infraestructura verde, la práctica actual de la planificación urbana no presta la debida atención a la calidad de los suelos, a sus múltiples funciones, ni a la provisión efectiva de servicios ecosistémicos para la población (Calzolari, 2020). Ante este contexto, el objetivo de este trabajo es caracterizar el servicio ecosistémico de regulación hídrica de los suelos urbanos de la ciudad de La Banda (Santiago del Estero, Argentina), evaluando la capacidad de infiltración en función del tipo de espacio verde, sus microambientes y el contexto barrial, e integrando estos resultados con la configuración de la trama urbana según su grado de sellado y la infraestructura verde, a fin de aportar criterios para una planificación urbana sostenible.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio comprende la ciudad de La Banda (Figura 1), con una superficie de 3.597 km², situada en el centro-oeste de Santiago del Estero, Argentina. Biogeográficamente, pertenece a la región del Chaco Semiárido, con un régimen climático templado cálido donde las precipitaciones (media de 554 mm) se concentran fuertemente en el período estival (Boletta et al., 2006), llegando a ser muchas de ellas torrenciales. Geomorfológicamente, la ciudad se asienta sobre una planicie aluvial, modelada por la dinámica del río Dulce. Los suelos que se encuentran en este contexto son típicamente Fluvisols, derivados de sedimentos fluviales arenosos y franco limosos, asociados a Technosols (IUSS Working Group WRB, 2022), cuando se registran modificaciones vinculadas a los procesos de urbanización.

Para evaluar el servicio ecosistémico de regulación hídrica en los espacios verdes urbanos, se consideraron tres factores ambientales, anidados en escalas espaciales: (i) diferentes barrios, con características contrastantes en términos de antigüedad y contexto sociocultural, (ii) dentro de cada barrio, tres tipologías de espacios verdes representativas de la trama urbana: plazas, platabandas y veredas, y (iii) en cada unidad de estudio, dos microambientes contrastantes, diferenciados por su grado de impacto antrópico, respectivamente su grado de cuidado y protección.

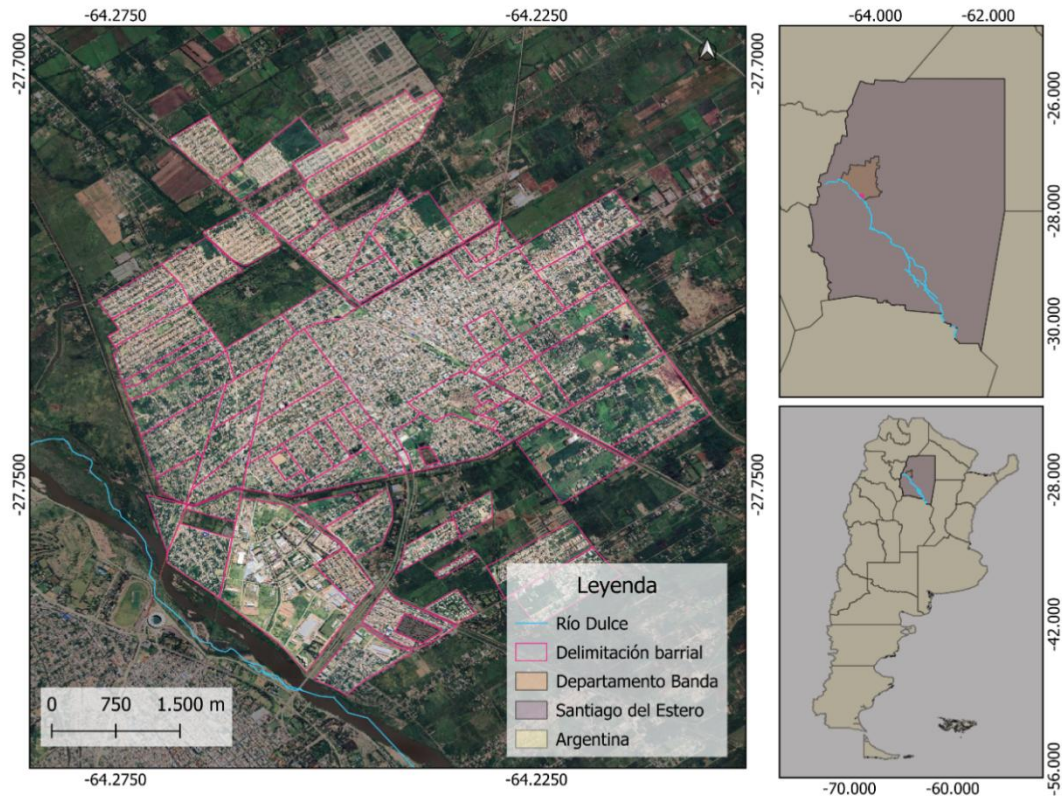


Figura 1. Ciudad de La Banda, Santiago del Estero, Argentina

La capacidad de infiltración de agua en el suelo se puede considerar un proceso clave en la regulación hídrica, ya que determina si el agua de lluvia es captada por el sistema y posteriormente redistribuida a la vegetación, o si, por el contrario, permanece estancada o genera escorrentía superficial, favoreciendo problemas como inundaciones y procesos de contaminación asociados a riesgos para la salud.

El proceso de infiltración se determinó in situ, utilizando un mini-infiltrómetro de tensión (Mini Disk Infiltrometer, Decagon Devices Inc.), un instrumento sumamente portátil y especialmente adecuado para estudios urbanos. Permite obtener resultados en tiempos cortos, al medir el flujo de agua en condiciones no estacionarias, en suelos no saturados (Figura 2). De la medición se derivan los parámetros de sorptividad (S) y la conductividad hidráulica (K) mediante el modelo de infiltración de Philip (1957) y la interpretación analítica de Zhang (1997), siendo K, determinado por el flujo vertical de agua condicionado por la gravedad, el parámetro clave para evaluar la regulación hídrica (Figura 2). En cada situación individual, se realizaron cuatro repeticiones de medición, para un total de 34 sitios, con dos microambientes contrastados en cada uno, atendiendo los factores de análisis.

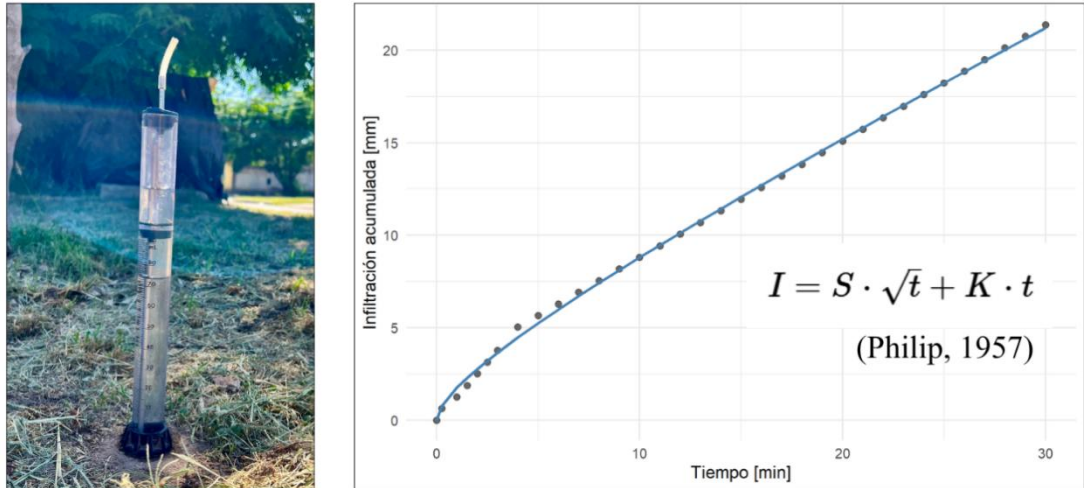


Figura 2. Mini infiltrómetro de disco de tensión y modelo conceptual utilizado para la estimación de K y S a partir de una curva experimental de infiltración acumulada.

La variación de K se analizó mediante modelos lineales mixtos, considerando los tres factores ambientales como efectos fijos y aleatorios. Todos los análisis se efectuaron en R, versión 4.5.2 (R Core Team, 2025).

Con el fin de contextualizar la infraestructura verde a escala de barrios, se estimó la cobertura verde urbana mediante imágenes satelitales Sentinel 2, de resolución de 10 m, mediante el índice NDVI. Se consideró como umbral un NDVI > 0,5, representativo principalmente de cobertura arbórea. A partir de esta clasificación se estimó la proporción de superficie verde, diferenciado en público y privado, mediante intersección de la capa vectorial de la red vial. Estos valores fueron utilizados como referencia para interpretar los resultados de infiltración en relación con el grado de sellado y la configuración urbana.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizaron 278 mediciones de infiltración in situ distribuidas en distintos barrios y tipologías de espacios verdes de la ciudad de La Banda. La conductividad K mostró una variabilidad marcada en todos los niveles estudiados, barrios, tipos de espacio verde y microambiente. No obstante, se evidencia un patrón consistente de mayores valores en microambientes protegidos respecto a aquellos alterados (Figura 3).

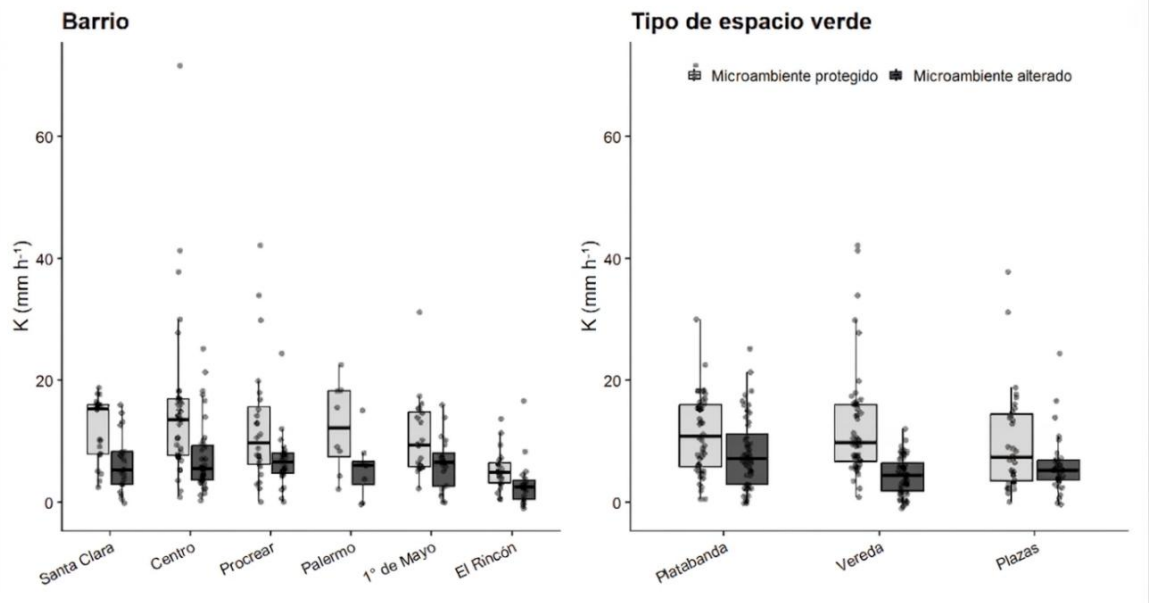


Figura 3. Distribución de la conductividad hidráulica (K , mm h^{-1}) en función del contexto barrial, la tipología de espacio verde y el estado del microambiente.

A su vez, la distribución de frecuencias para K mostró una marcada asimetría hacia valores bajos, concentrándose la mayoría de los casos en el rango de $0\text{--}20 \text{ mm h}^{-1}$, lo que se evalúa como una prestación de servicio regular (Lorenz, 2016).

Para evaluar formalmente los factores que explican la variabilidad en K , se ajustó un modelo lineal mixto, considerando el barrio y el microambiente como efectos fijos, y el tipo de espacio verde como efecto aleatorio. El factor microambiente mostró un efecto altamente significativo ($p < 0,0001$). En promedio, dentro de los espacios verdes, aquellos microambientes con mayor impacto antrópico, ausencia de vegetación y signos de compactación presentaron valores de $K=6,31 \text{ mm h}^{-1}$, inferiores en un 43 % a los microambientes bajo cobertura vegetal ($K=11,05 \text{ mm h}^{-1}$) y protegidos del tránsito (Figura 4). Entre los barrios, casi no se distinguieron diferencias entre sí, salvo por uno de ellos que presentó valores significativamente menores en comparación con la mayoría de los restantes barrios ($-4,56 \text{ mm h}^{-1}$ respecto al barrio de referencia). A su vez, la varianza asociada al tipo de espacio verde no fue significativa y quedó circunscripta como un efecto aleatorio. En resumen, el consistente efecto del microambiente en cualquier contexto de barrio y tipo de espacio verde remarca la importancia del cuidado, manejo y protección del espacio verde y su suelo como factor principal para mejorar el servicio de regulación hídrica.

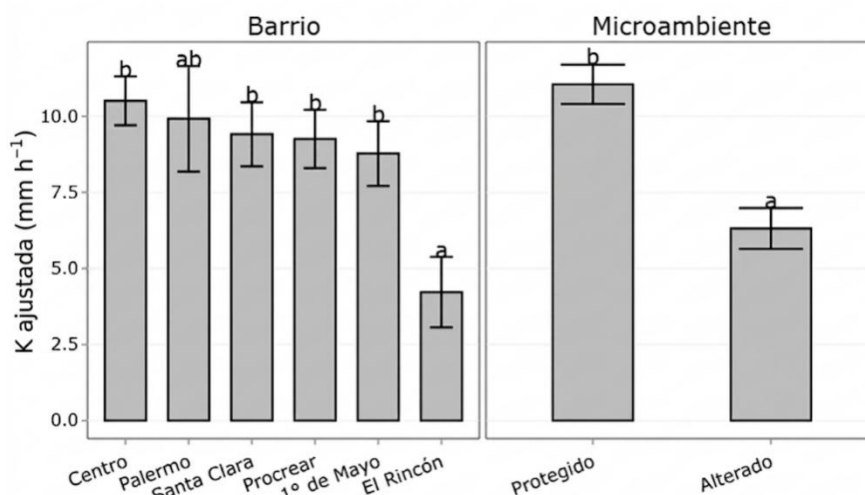


Figura 4. Medias marginales estimadas de la conductividad hidráulica saturada (K) en microambientes protegidos y alterados para cada barrio, derivadas del modelo lineal mixto: $K \sim \text{barrio} + \text{microambiente}$, con tipo de espacio verde incluido como intercepto aleatorio.

A escala de barrios, la proporción de verde urbano, en calidad de arbolado, es un proxy para la capacidad de regulación hídrica. En algunos barrios, la presencia de áreas verdes resulta reducida (Tabla 1), lo que implica que, aun cuando existan microambientes con adecuada capacidad de infiltración, la contribución global a la regulación hídrica puede verse limitada por la escasa superficie vegetada dentro del tejido urbano.

Tabla 1. Cobertura verde estimada mediante NDVI (umbral $> 0,5$) en barrios de la ciudad de La Banda

Barrio	Superficie total (ha)	Superficie verde total (%)	Superficie verde pública (%)
Centro	362,4	15,0	8,4
Palermo	39,0	20,6	14,2
Santa Clara	15,1	22,1	15,7
1º de Mayo	26,1	18,0	10,6
El Rincón	36,4	26,5	16,5
Procrear	17,4	61,8	58,3

En el marco de la planificación urbana, existen metas orientativas a alcanzar para la cobertura arbórea. Konijnendijk (2021) sugiere un 30 % de cobertura de copa arbórea a escala de barrio, asociada principalmente a beneficios en habitabilidad, confort térmico y salud urbana. Desde una perspectiva hidrológica, estos valores sugieren que la proporción estructural de cobertura arbórea podría contribuir de manera relevante a la regulación hídrica urbana (Owen, 2024), especialmente cuando se combina con microambientes edáficos funcionales.

CONCLUSIONES

La provisión del servicio ecosistémico de regulación hídrica en ciudades depende de dos dimensiones complementarias: la prestación misma de los suelos urbanos, con variaciones a nivel de microambientes, y la proporción de cobertura verde presente a escala barrial. Los resultados evidencian preliminarmente un gran potencial de mejora de la capacidad de regulación hídrica por los suelos urbanos, mediante la gestión y el cuidado de estos, siendo un aspecto importante para ser incorporado en la planificación urbana, combinado con estrategias orientadas a promover una mayor presencia y distribución de infraestructura verde en la ciudad

AGRADECIMIENTOS

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Municipalidad de la ciudad de La Banda, Santiago del Estero, Argentina.

BIBLIOGRAFÍA

- Argañaraz, J. P., & Lorenz, G. (2010). Contribución de las áreas verdes urbanas a la regulación del balance de agua en Santiago del Estero, Argentina. *Bosque*, 31, 231-242.
- Boletta, P., Ravelo, A. C., Planchuelo, A. M., & Grilli, M. (2006). Assessing deforestation in the Argentine Chaco. *Forest Ecology and Management* 228, 114e118.
- Calzolari, C. (2020). Assessing soil ecosystem services in urban and peri-urban areas: From urban soils survey to providing support tool for urban planning. *Land Use Policy*, 99, 105037.
- Elmqvist, T. (Ed.). (2013). *Urbanization, biodiversity and ecosystem services: Challenges and opportunities*. Springer.
- Haase, D. (2014). The role of urban green spaces in regulating ecosystem services. *Ecological Indicators*, 42, 1–8.
- IUSS Working Group WRB. (2022). *World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps (4th ed.)*. International Union of Soil Sciences (IUSS).
- Konijnendijk, C. (2021). The 3-30-300 rule for urban forestry and greener cities. *Biophilic Cities Journal* 4/2.
- Lorenz, G. (2016). *Guía de Evaluación Ecológica de Suelos. N°8 en la Serie Didáctica de la Facultad de Ciencias Forestales, 2° edición*. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.
- McGrane, S. J. (2018). Impacts of urbanisation on hydrological and water quality dynamics. *Hydrological Sciences Journal*, 61(13), 2295–2311.
- Owen, D., Fitch, A., Fletcher, D., Knopp, J., Levin, G., Farley, K., Banzhaf, E., Zandersen, M., Grandin, G., & Jones, L. (2024). Opportunities and constraints of implementing the 3–30–300 rule for urban greening. *Urban Forestry & Urban Greening*.
- Pappalardo, V., La Rosa, D., Campisano, A., & La Greca, P. (2018). The potential of green infrastructure to mitigate urban flooding. *Sustainable Cities and Society*, 36, 223–234.

Philip, J. R. (1957) Theory of infiltration: 1. The infiltration equation and its solution. *Soil Science* 83:345–357

R Core Team (2025) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Scalenghe, R., & Marsan, F. A. (2009). The anthropogenic sealing of soils in urban areas. *Landscape and Urban Planning*, 90(1–2), 1–10.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2022). *World Urbanization Prospects 2022*. United Nations.

Zhang, R. (1997). Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer. *Soil Science Society of America Journal*, 61(4), 1024–1030.
<https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100040005x>