

OPTIMIZACIÓN DE LA RECARGA DE ACUÍFEROS COSTEROS A TRAVÉS DE INFRAESTRUCTURA AZUL. CASO DE ESTUDIO: PINAMAR

Leandro Rodrigues Capítulo*, Silvina C. Carretero*, Samanta Anguiano** y Eduardo E. Kruse*

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

** Municipio de Pinamar Av. Shaw 18, 7167, Pinamar, Argentina.

Resumen

En las ciudades costeras del este de la Provincia de Buenos Aires, el crecimiento urbano en el último siglo ha ocasionado una expansión significativa de la zona urbana, resultando en la impermeabilización del suelo. Esta situación ha provocado una disminución progresiva en la capacidad de recarga de los acuíferos debido al incremento de la escorrentía superficial y la descarga de agua dulce al mar. El concepto de "Infraestructura Azul" surge como una potencial solución para mitigar dichos efectos. El objetivo de este estudio fue analizar la implementación de dicha infraestructura en Pinamar. Las actividades realizadas incluyeron la elaboración de un diagnóstico de la gestión pluvial, relevamientos aerofotogramétricos, la creación de un DEM, la modelación hidrológica, la ejecución de perforaciones de monitoreo, la instalación de registradores de niveles hidráulicos, la construcción de un Rain Garden (RG) y la evaluación de su capacidad de infiltración. Se tomaron muestras de agua de escorrentía pluvial y de agua subterránea. El análisis de niveles freáticos posteriores a su instalación mostró un aumento significativo en la recarga, especialmente en lluvias menores a 3,5 mm, con una capacidad de infiltración de 230 L/min. No se verifican procesos de contaminación relacionados con la infiltración de la escorrentía pluvial. Se concluye que la aplicación de este tipo de infraestructuras es efectiva para mitigar los efectos del avance de la urbanización.

Palabras Claves: Infraestructura azul, recarga, acuíferos costeros

Abstract

In the coastal cities of the eastern region of the Province of Buenos Aires, urban growth over the last century has led to a significant expansion of the metropolitan area, resulting in soil impermeabilization. This situation has caused a progressive decrease in the recharge capacity of aquifers due to increased surface runoff and the freshwater discharge into the sea. "Blue Infrastructure" has emerged as a potential solution to mitigate these effects. The objective of this study was to analyze the implementation of such infrastructure in Pinamar. The activities conducted included the development of a diagnosis on stormwater management, aerial photogrammetric surveys, the creation of a Digital Elevation Model (DEM), hydrological modeling, monitoring well drilling, installation of hydraulic level recorders, construction of a Rain Garden (RG), and evaluation of its infiltration capacity. Samples of stormwater runoff and groundwater were collected. The analysis of water table levels post-installation showed a significant increase in recharge, especially during rainfall events of less than 3.5 mm, with a maximum infiltration capacity of 230 L/min. No contamination processes related to the infiltration of stormwater runoff were observed. It is concluded that implementing this type of infrastructure effectively mitigates the effects of urbanization.

Keywords: Blue Infrastructure, recharge, coastal aquifers

INTRODUCCIÓN

Las ciudades costeras ubicadas sobre el cordón litoral de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, han experimentado un fuerte crecimiento durante el último siglo. Este cordón costero se caracteriza por la existencia de espesos mantos de arena cuya permeabilidad garantiza la infiltración directa de las aguas de lluvia y la recarga del acuífero. No obstante, para poder llevar adelante el proceso de urbanización ha sido necesaria una fuerte intervención sobre el medio físico, particularmente sobre las variables que condicionan el comportamiento del ciclo hidrológico y la evolución de las reservas de agua dulce disponibles (Rodríguez Capitulo *et al.*, 2017; Rodríguez Capitulo *et al.*, 2018; Carretero *et al.*, 2021).

En este contexto, la impermeabilización de las superficies de infiltración vinculada al avance de la urbanización y la ejecución de cuencas pavimentadas, resultan los casos más evidentes en donde el agua de lluvia es directamente conducida al mar generando una disminución de la capacidad de infiltración de las arenas ocasionando un progresivo agotamiento de las reservas de agua dulce. En otros sectores, la impermeabilización se relaciona con la implementación de una trama circulatoria cuyo consolidado se realiza mediante la combinación de arena y tosca, impidiendo la infiltración de las precipitaciones, aumentando la escorrentía superficial, favoreciendo los procesos de erosión y transporte del material arcilloso aguas abajo (Rodríguez Capitulo, 2022).

La presente investigación pretende llevar a cabo una cuantificación del beneficio real que la implementación de obras de infraestructura azul supone para la mejora de la recarga en acuíferos costeros. Asimismo, y bajo el concepto de “ciudades esponja”, se postula que los resultados permitan sentar los conceptos y criterios básicos para la planificación sustentable de ciudades en donde los procesos de recarga resultan centrales para el abastecimiento de la población.

El objetivo central de este trabajo consiste en el análisis de la implementación de jardines de lluvia (Rain Gardens, RG) como parte de la infraestructura azul de una ciudad como potenciales soluciones que, basadas en la naturaleza, permitan optimizar la recarga de agua subterránea para el abastecimiento de la población en el Partido de Pinamar. Se postula que estos sistemas, de bajo costo, podrían resultar una alternativa viable para la mejora de la recarga.

AREA DE ESTUDIO

En el borde oriental de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, se ubica el Partido de Pinamar (37° 6' 36.66" Latitud Sur; 56° 52' 17.83" Longitud W) (Figura 1a). Con una superficie de 66,2 km² se trata de un polígono de forma rectangular con su eje mayor ubicado en dirección SW-NE, que limita al oeste con el Partido de General Juan de Madariaga, al norte con el Partido de La Costa, al sur con el de Villa Gesell, y al este con el Mar Argentino.

El área de estudio corresponde desde un punto de vista hidrogeológico a la región “costera” (González, 2005). El clima de la región, de acuerdo a la clasificación Thornthwaite (1948), es B2 B'2 r a', mesotermal, templado frío, con nulo a pequeño déficit de agua y concentración estival de la eficiencia térmica menor del 48%. El valor medio para las precipitaciones es de 900 mm, mientras que para las temperaturas el mismo es de 14,5 °C.

El sector analizado se erige entre la Llanura deprimida y el océano Atlántico y corresponde al sector que geológicamente es conocido como Cordón Costero (Parker y Violante, 1989). El mismo posee entre 2 y 4 km de ancho, presenta su mejor expresión entre Villa Gesell y Punta Médanos y disminuye paulatinamente hacia el norte y sur hasta desaparecer.

El esquema geohidrológico se compone de una base de edad Pleistocena superior compuesta por “limos arcillosos con intercalaciones carbonáticas” (hidrofacies D) dentro de las cuales se encuentra incluido un nivel acuífero compuesto por las lentes de “arena muy fina” (hidrofacies E). El Holoceno temprano se constituye por las “arenas medianas” (hidrofacies C) de las barreras transgresivas que representan a una unidad acuífera, y por las “arcillas grises con intercalaciones arenosas” que, formadas en un ambiente de baja energía, conforman un nivel acuitardo (hidrofacies B). Por último, el Holoceno reciente se encuentra

representado por las “arenas finas” (hidrofacies A) de la cadena de médanos actual (Rodríguez Capitulo, 2018). El flujo subterráneo de la capa freática (hidrofacies A) está representado por curvas equipotenciales orientadas en forma paralela a la costa, con una divisoria de agua subterránea que tiende a coincidir con las máximas alturas topográficas del cordón costero y sentidos de flujo subterráneo hacia el este (mar) y hacia al oeste (continente) (Figura 1b).



Figura 1. A) Área de estudio B) Mapa de flujo subterráneo

La capa freática se recarga naturalmente en forma directa por infiltración de los excesos de la precipitación. La recarga de las unidades profundas se produce por filtración vertical en forma indirecta desde la capa freática tal como se deduce de las diferencias de carga hidráulica, siendo ello más manifiesto en los sectores topográficamente más altos. Las coberturas del suelo, que incluyen forestación, urbanización y médanos con escasa vegetación o desnudos muestran diferentes condiciones de infiltración que se reflejan en la configuración del flujo de la capa freática.

El patrón de crecimiento urbano para los últimos 80 años se caracteriza por una expansión de la mancha urbana desde la línea de costa hacia el continente generando una significativa presión sobre los recursos hídricos sobre este sector. Este proceso ha sido acompañado por la materialización de infraestructura pluvial con descarga al mar, la impermeabilización del terreno para la implementación de la traza urbana y la densificación de perforaciones de explotación en los sectores de mayor demanda hídrica (Carretero *et al.*, 2020). La combinación de estos factores se traduce en una disminución progresiva de las reservas de agua dulce disponibles, evidenciada por un descenso anual promedio del nivel freático de 2 a 4 cm por año (Rodríguez Capitulo, 2015).

METODOLOGIA

Se recopiló información acerca de la infraestructura pluvial en el Partido de Pinamar, que incluye planos de cuencas pluviales, informes hidráulicos, mapas altimétricos, así como registros históricos pluviométricos, comportamiento de aguas subterráneas y evolución de las reservas. Los registros hidrometeorológicos fueron obtenidos de una estación meteorológica Davis Vantage ubicada en la localidad de Pinamar, (Lat: 37° 6'38.73"S, Long: 56° 51'52.87"W).

El diagnóstico de la gestión pluvial urbana se llevó a cabo mediante el empleo de un sistema de información geográfica el cual permitió integrar los diferentes niveles de información.

En virtud del diagnóstico obtenido, se procedió a la selección de una cuenca urbana representativa (CBM: Cuenca Bunge al Mar). Para la elaboración del MDT (Modelo Digital del Terreno) de la misma se llevaron a cabo 12 vuelos fotogramétricos con un dron multirrotor DJI Phantom IV Pro. De manera previa se colocaron 44 puntos de control en el terreno cuyas

coordenadas X-Y-Z fueron acotadas con un GPS Multifrecuencia y posteriormente fueron incluidas en el postproceso digital realizado mediante el software Agisoft Metashape.

Seguidamente se llevó a cabo una modelación hidrológica partir del software MIKE URBAN (Danish Hydraulic Institute). Se determinó la cantidad promedio de eventos de precipitación anual y se estimaron las recurrencias para eventos de 2 años. Se identificaron y mapearon sectores críticos propensos a inundaciones y las alturas obtenidas y caudales de descarga para eventos de recurrencia de 2 años.

Basándose en los resultados de la modelación, los sitios de conflicto hidráulico y los caudales estimados de escorrentía superficial, se seleccionó la Subcuenca de Las Artes (SLA) (Figura 4c) para instalar el Rain Garden (RG) (Figura 2). Con el objetivo de comprender el comportamiento hidráulico local en la desembocadura de la SLA y mediante el software HEC-HMS se llevó a cabo una modelación hidráulica para un evento de recurrencia de 2 años.

De manera previa a la instalación de RG (Figura 2a), se solicitó al municipio los planos de interferencia de servicios subterráneos, como tuberías de gas, luz, cloacas, agua e internet, para asegurar la seguridad de la instalación. El RG se compone de 28 estructuras de hormigón premoldeado de 40x40x40 m, dispuestas en 3 filas con diferentes tamaños de roca y mallas de geotextil para preservar la permeabilidad y evitar acumulación de arcillas (Figura 2b y 2c).

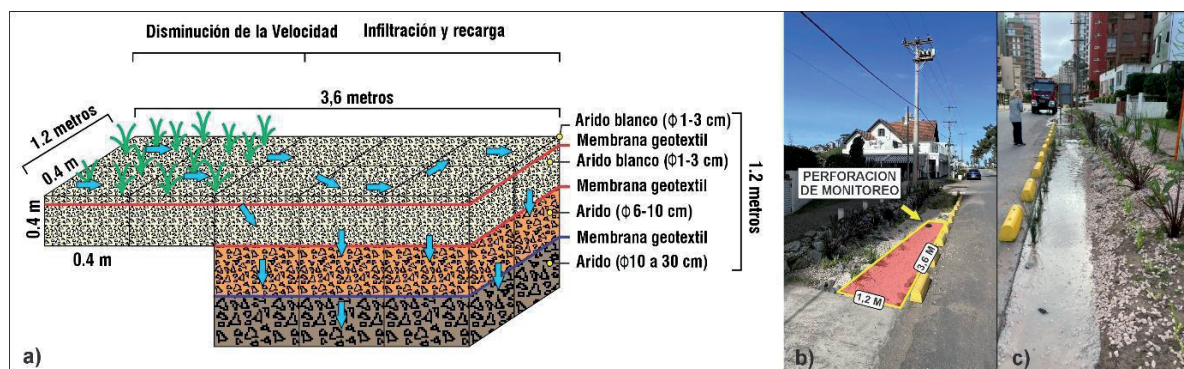


Figura 2. a) Diseño del rain garden, b) y c) Implantación del RG en el terreno

Se realizó una perforación de 12 metros de profundidad para monitorear la evolución del nivel freático y su relación con la recarga. Utilizando el método rotativo con inyección de lodo y recuperación de cutting en superficie, se reconstruyó el perfil litológico. El entubamiento se efectuó con filtro de PVC reforzado de 63 mm, además de un prefiltro de grava seleccionada en el espacio anular. Se instaló un registrador continuo de nivel (HOBO-ONSET) configurado a intervalos de 5 minutos para el monitoreo freático.

La estimación de la capacidad de infiltración se realizó mediante dos ensayos experimentales. Estos ensayos consistieron en la erogación controlada de un volumen de agua conocido aguas arriba del sitio experimental. El primero se realizó a partir de una unidad de 4000 litros de capacidad y alcanzó caudales de 19, 37, 90 y 150 LPM (Litros por minuto), mientras que el segundo, con una unidad de 8000 litros, reguló caudales de 115, 230, 360 y 465 LPM. Los ensayos se realizaron mediante el aumento progresivo de caudales hasta que la escorrentía sobrepasara el área experimental.

Con el objeto de descartar alteraciones de la calidad hidroquímica por la infiltración de aguas pluviales, se realizó un muestreo hidroquímico que incluyó la determinación de Sólidos Disueltos Totales, Conductividad Eléctrica, Aceites y Grasas, Hidrocarburos Totales del Petróleo y Sustancias Activas al Azul de Metileno de la escorrentía pluvial y de las aguas subterráneas.

RESULTADOS

El análisis de la gestión pluvial en el Partido de Pinamar permitió diferenciar 3 grupos distintos de cuencas urbanas: el primero (Color verde), caracterizado por la infiltración natural en el cordón costero; el segundo (Color amarillo), cuyo escurrimiento se produce por gravedad hacia el mar debido a la topografía; y el tercero (Color rojo), de mayor relevancia, conformado por cuencas con obras civiles en hormigón para la recolección, conducción y descarga al mar.

Destaca la "Cuenca Bunge al Mar" por su extensión de 147 Has (Figura 3) y cuya descarga de agua dulce al mar alcanza los 3,78 Hm³/año según la modelación realizada.

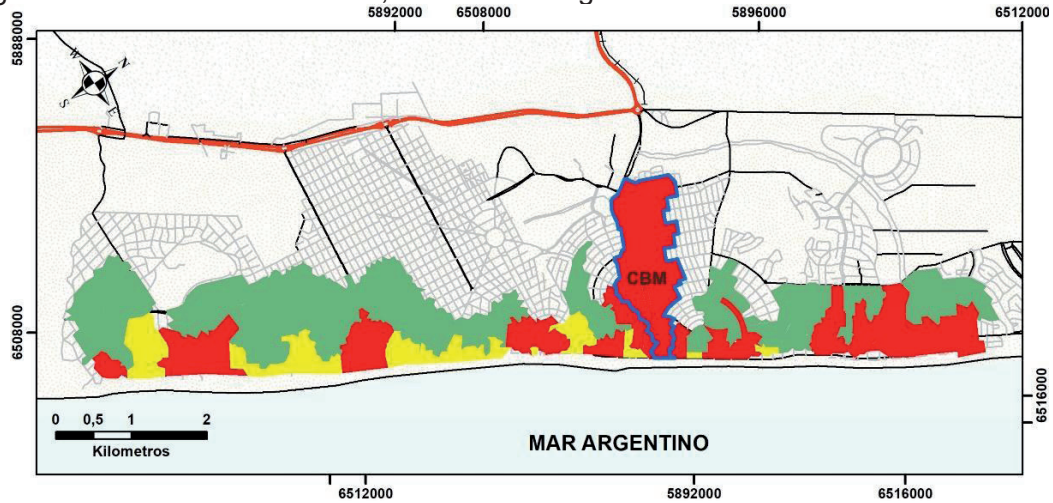


Figura 3. Diagnóstico de la gestión de la escorrentía pluvial del Partido de Pinamar.

La integración del MDT (Figura 4b) en la modelización realizada con el software MIKE URBAN permitió contabilizar un total de 129 sitios de conflicto hidráulico de los cuales 97 alcanzan una altura de 0,25 m; 17 presentan alturas entre 0,25 y 0,4 m; 14 con valores entre 0,4 y 0,7 m y finalmente un único sitio en donde la altura supera los a 0,7 m (Figura 4c).

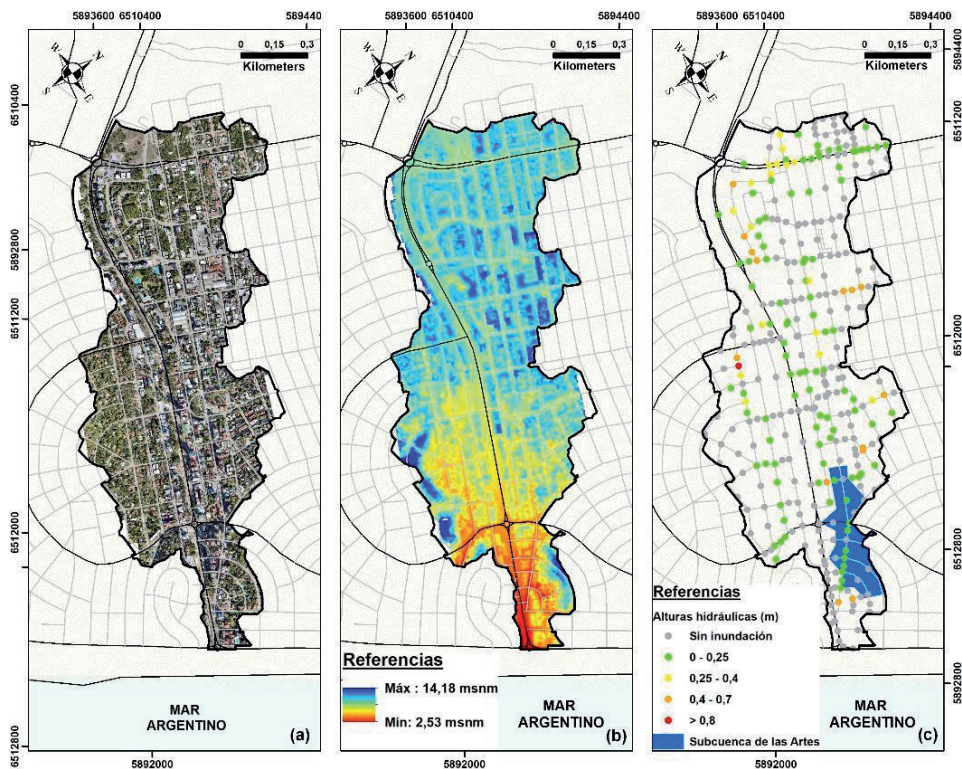


Figura 4. Caracterización hidráulica de la CBM. En a) Mosaico ortorectificado, b) Modelo digital del Terreno y c) Sitios de conflicto hidráulico obtenidos a partir del modelo DHI Mike Urban, en azul se indica la superficie de la subcuenca de las Artes (SLA).

En virtud de los puntos identificados, y con el objeto de seleccionar un sitio representativo para estimar la eficiencia del RG, se seleccionó la subcuenca de la Av. De Las Artes (SLA) (Figura 4c). Este sector se encuentra ubicado en la porción final de la CBM, abarca una superficie de 8 Has y se caracteriza por la existencia de pendientes pronunciadas especialmente en su tramo final. El diseño ingenieril de esta subcuenca urbana ha incluido la

colocación de una boca de tormenta en su tramo final a partir de la cual las aguas son conducidas subterráneamente mediante ductos pluviales y luego son descargadas en el mar.

La modelización realizada con el software HEC-HMS permitió estimar que, para un evento de tormenta de 22 mm, el pico de descarga alcanza de 1,1 m³/s a los 22 minutos, con una duración total de 50 minutos. La curva de descenso posterior y agotamiento tiene una duración de 28 minutos.

Con la finalidad de contar con un registro previo acerca la evolución mensual de los niveles freáticos para el período de abril a octubre de 2023, en la figura 5 se han representado las precipitaciones mensuales de manera conjunta con los registros obtenidos a partir de 4 perforaciones de monitoreo ubicadas en un radio de 1000 metros respecto a la perforación de monitoreo FBB1.

El análisis de la figura 5 permite advertir el efecto de las precipitaciones registradas durante el mes de mayo el cual se manifiesta durante el mes de junio a partir de un ascenso generalizado de los niveles en las 4 perforaciones de monitoreo. Asimismo, y para los meses julio, agosto, septiembre y octubre se advierte un descenso en las perforaciones F-39, PE-1 y P-22, mientras que para el pozo FBB1 se verifica un incremento sostenido hasta el mes de octubre. Esta condición permite inferir el efecto generado por el RG aún en condiciones de escasas precipitaciones como las registradas durante el período analizado.

En la figura 6 se muestran los registros obtenidos a partir del registrador continuo de niveles instalado en la perforación de monitoreo FBB1 antes y después de la instalación del RG. Dichos registros permiten advertir una buena correlación entre los eventos de precipitación y el comportamiento de los niveles freáticos cuya respuesta se manifiesta en un lapso comprendido entre 1 y 2 horas.

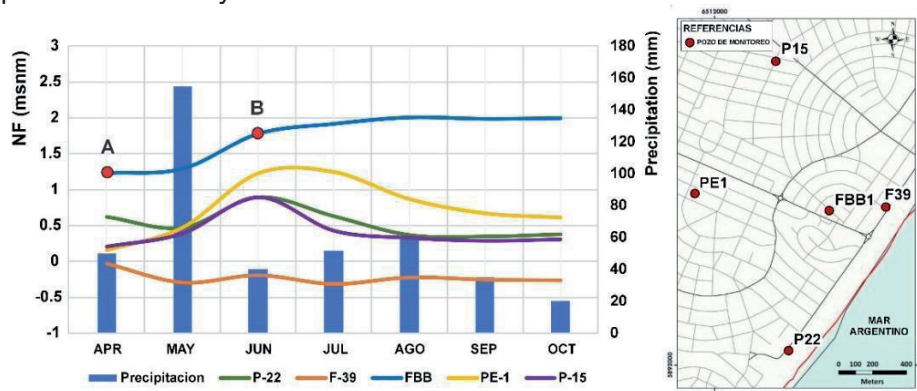


Figura 5. Evolución de los niveles freáticos y las precipitaciones mensuales registradas durante el período comprendido entre los meses de abril y octubre de 2023. Los puntos A y B indican las fechas de ejecución de la perforación de monitoreo FBB1 y del RG respectivamente.

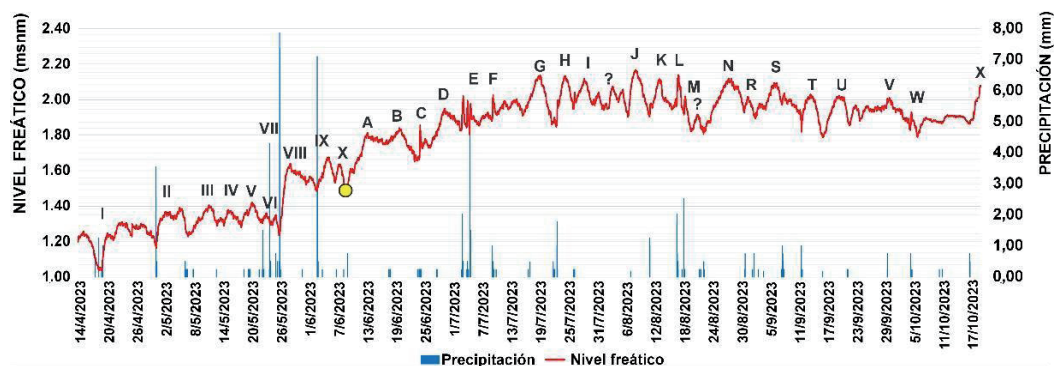


Figura 6. Registro de niveles y precipitaciones registradas durante el período analizado (El círculo amarillo indica la fecha de instalación del RG)

En las tablas 1 y 2 se muestran los eventos de tormenta, fechas, lámina de precipitación, la variación del nivel freático y la relación entre la precipitación registrada y el ascenso del nivel freático ($\Delta NF/P$). El análisis de las respuestas del nivel freático para los

eventos de tormenta observados permitió identificar la relación existente entre la altura de la lámina de precipitación y el ascenso del nivel freático para cada evento de precipitación. En este sentido, se verifica que, para eventos de poca magnitud (<2,4 mm), esta relación resulta mayor y tiende a disminuir en la medida que la lámina de precipitación es mayor.

Misma condición se verifica para esta relación durante los eventos registrados de manera posterior a la instalación del módulo (Tabla 2). Sin embargo, el análisis comparativo para lluvias menores a 3,4 mm, esta relación resulta significativamente mayor. Por ejemplo, para un evento de 0,6 mm el ascenso de la lámina de agua fue de 3 cm antes de la instalación del módulo ($\Delta NF/P=5$), mientras que para una precipitación de 0,4 mm el ascenso fue de 26 y 21 cm luego de la instalación del RG ($\Delta NF/P=65$). Esta condición pone de manifiesto el proceso de rápida infiltración que se produce a partir del RG el cual se verifica a partir de un mayor ascenso del nivel por evento de precipitación.

Tabla 1. Análisis de eventos de precipitación previos a la instalación del (NF: Nivel Freático)

Evento de tormenta	Fecha	Precipitación (mm)	ΔNF (cm)	$\Delta NF/P$
IV	18/4/2023	0.6	3	5.00
X	6/6/2023	1.0	7	7.00
V	18/5/2023	2.4	11	4.68
I	20/4/2023	7.6	9	1.18
II	26/4/2023	11.1	11	1.00
VI	22/5/2023	15.7	4	0.25
III	30/4/2023	20.8	14	0.67
VII	24/5/2023	22.5	6	0.27
IX	2/6/2023	31.0	19	0.61
VIII	26/5/2023	101.2	39	0.39

Tabla 2. Análisis de eventos de precipitación posteriores a la instalación del RG (NF: Nivel freático)

Evento de tormenta	Fecha	Precipitación (mm)	ΔNF (cm)	$\Delta NF/P$
J	6/8/2023	0.4	26	65.00
T	16/9/2023	0.4	21	52.50
B	17/6/2023	0.5	9	18.00
G	15/7/2023	0.8	23	30.67
U	21/9/2023	1.0	12	12.00
A	9/6/2023	1.0	35	34.65
D	27/6/2023	1.3	19	15.20
V	29/9/2023	2,5	19	7.57
N	22/8/2023	3.3	31	9.45
X	16/10/2023	3.4	22	6.47
R	1/9/2023	4.0	18	4.52
C	24/6/2023	4.0	20	5.00
I	26/7/2023	4.0	16	4.00
K	11/8/2023	5.6	21	3.76
W	5/10/2023	6.6	10	1.53
F	9/7/2023	7.1	14	1.98
H	22/7/2023	7.8	29	3.70
S	11/9/2023	8.1	18	2.22
M	18/8/2023	14.4	11	0.76

Los resultados obtenidos a partir de los ensayos de infiltración realizados sobre el RG permitieron definir la capacidad máxima de infiltración. En el primer ensayo se verificó que hasta los 150 LPM la infiltración fue total. Para el segundo, se constató la infiltración total para caudales de 115 y 230 LPM, sin embargo, cuando se procedió a incrementar a 360 LPM, el flujo superficial supero el RG siguiendo su trayectoria aguas abajo. De este modo se confirma que la capacidad de infiltración máxima del mismo alcanza los 230 LPM. Considerando que en Pinamar anualmente se registran un total de 108 eventos de precipitación y que el volumen infiltrado por tormenta alcanza los 11,5 m³ aproximadamente, la recarga efectiva del RG alcanzaría los 1242 m³/año, lo cual equivale al consumo diario de 4968 personas (Consumo medio diario por persona de 0,25 m³).

Los resultados analíticos de las muestras de escorrentía pluvial y del pozo de monitoreo (Tabla 3) mostraron un ligero descenso en los SDT y CE. Además, se verificó la ausencia de aceites, grasas, sustancias activas al azul de metileno e hidrocarburos totales del petróleo en las aguas subterráneas.

Tabla 3. Resultados analíticos de laboratorio. La muestra de escorrentía pluvial se obtuvo durante un evento de tormenta el día 22/07/2023 a las 8:00 am, y el subterráneo el 23/07/2023 a la misma hora

Evento de tormenta	Fecha	Precipitación (mm)	Δ NF (cm)
SDT	(mg/l)	820	760.1
EC	(uS/cm)	1673	1550
Grasas y aceites	(mg/l)	0.93	N.C.
Hidrocarburos totales del petróleo	(mg/l)	0.91	N.C.
SAAM	(mg/l)	0.06	N.C.

CONCLUSIONES

La investigación ha demostrado la utilidad de los RG para optimizar la recarga en sectores costeros en donde el proceso de urbanización ha afectado los procesos de infiltración. La cuantificación real del volumen de agua que este tipo de infraestructuras son capaces de infiltrar permitirá definir los criterios, parámetros y diseños necesarios para mitigar los efectos de las cuencas impermeabilizadas con descarga de agua dulce al mar en zonas similares.

Se concluye que la replicación de este tipo de sistemas a mayor escala podría representar una potencial solución para evitar procesos vinculados con la disminución de las reservas de agua dulce para el abastecimiento de la población y el potencial avance del frente salino en acuíferos costeros arenosos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente artículo desean expresar su agradecimiento al Municipio de Pinamar por el apoyo durante la realización de las tareas de campo y recopilación de información. El presente trabajo fue financiado por la Fundación Bunge y Born (Proyecto Aguas Claras - Implementación de sistemas de infraestructura azul para la optimización de la recarga de acuíferos costeros de la provincia de Buenos Aires).

REFERENCIAS

- Carretero S., Rodrigues Capítulo L. & Kruse E.** (2021). Evolution of groundwater recharge as a result of forest development on the east coast of the province of Buenos Aires, Argentina. *Hydrogeology Journal*: 29(2):783-797, doi 10.1007/s10040-020-02282-z
- González N.** (2005). "Los ambientes hidrogeológicos de la Provincia de Buenos Aires". En: *Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino*, Cap. XXII: 359 - 374. La Plata.
- Parker G. & Violante R. A.** (1989). *Geología y Geomorfología. Regiones I y II. Punta Rasa - Faro Querandí*. Provincia de Buenos Aires. CFI y SHN, Informe final. 141 pp.
- Rodrigues Capítulo, L.** (2015) Evaluación geohidrológica en la región costera oriental de la provincia de Buenos Aires: caso de estudio Pinamar [Geohydrological evaluation in the eastern coast of the Province of Buenos Aires: case of the Pinamar study]. PhD
- Rodrigues Capítulo L., Carretero S., Kruse E.** (2017). Comparative study of urban development and groundwater condition in coastal areas of Buenos Aires, Argentina. *Hydrogeology Journal* 25 (5): 1407-1422
- Rodrigues Capítulo, L.** (2022). Criterios urbanos para la optimización de la recarga en el Partido de Pinamar. Jornada internacional de hidrogeología urbana. FCNyM (UNLP), La Plata, Buenos Aires. Argentina.
- Rodrigues Capítulo, L., & Kruse, E. E.** (2018). Modelo conceptual de funcionamiento geohidrológico del acuífero costero medaneso. Caso de estudio: Pinamar. "El agua subterránea" recursos sin fronteras". p, 135-142.
- Thorntwaite, C.W.** (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*. 38 (1): 55-9