

RELACIÓN AGUA DULCE-AGUA SALADA EN ZONAS DE DIFERENTE GRADO DE EROSIÓN COSTERA EN EL PARTIDO DE LA COSTA

Silvina Carretero^{*}, Carlos M. Barrientos^{**}, Adriana Balzarini^{***} y César Marcomini^{***}

^{*} CONICET, CEIDE, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. 64 n°3. La Plata, Argentina. E-mail: scarretero@fcnym.unlp.edu.ar

^{**} Servicio de Hidrografía Naval, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

^{***} Dirección de Ciencia y Técnica de la Municipalidad de La Costa. Mar del Tuyú, Argentina.

RESUMEN

La posición de la interfase agua dulce-agua salada en un ambiente costero es relativamente estable mientras no sea perturbada por extracción de agua dulce, cambios en la morfología de las unidades que la contienen o el incremento del nivel del mar. Se exponen los primeros resultados del comportamiento de los niveles freáticos y la conductividad eléctrica del agua (CE) en sectores de la costanera del Partido de La Costa. El objetivo es establecer la relación entre el agua dulce del acuífero y el agua marina de acuerdo al grado de afectación de la erosión costera. Se realizan mediciones de nivel mensuales y de conductividad eléctrica del agua en freáticos de la costanera. La CE se mantiene estable salvo en un pozo donde se manifiesta un incremento durante el evento de marea alta. Las precipitaciones acumuladas en el periodo no parecen ser suficientes para generar un incremento de la capa freática. Los registros de mediciones continuas demuestran que las oscilaciones de los niveles freáticos se corresponden a las ondas de marea. La reducción de las curvas isofreáticas en la costanera muestra un desplazamiento de la cuña salina hacia el continente (1987-2021). Hasta el momento no se observa un comportamiento diferencial entre los datos de las zonas afectadas por distintos grados de erosión y las conservadas. Este estudio se encuentra en sus etapas iniciales por lo que se continúa con la recopilación de información.

Palabras Claves: acuífero costero, interfase agua dulce-agua salada, mareas.

ABSTRACT

Freshwater-saltwater interface location in a coastal environment is relatively stable while it is not disturbed by freshwater pumping, changes in the geomorphological units or sea-level rise. The first results of groundwater level and electrical conductivity (EC) behavior in the shoreline of Partido de La Costa are shown in this work. The aim was to establish the relationship between the aquifer freshwater and the marine saltwater according to the level of coastal erosion. Groundwater level and EC monthly measurements are carried out in wells located in the shoreline. The EC remains stable except in a well where an increase was shown during a high-tide event. The amount of accumulated rainfall during the studied period seems not to be enough to produce an increase in groundwater level. Level logger data shown that groundwater oscillation agreed with tide waves. The increase in the isophreatic curves in the shoreline shows a movement towards the continent (1987-2021). A different behavior between data from the areas affected by different level of erosion and the preserved ones is not observed, for the time being. This study is in its initial stages therefore the data collection is a working process.

Keywords: coastal aquifer, freshwater- saltwater interface, tides.

INTRODUCCIÓN

La posición de la interfase agua dulce-agua salada en un ambiente costero es relativamente estable mientras no sea perturbada por extracción de agua dulce, cambios en la morfología de las unidades que la contiene o el incremento del nivel del mar. Carretero et al. (2013) estimaron que, para el Partido de La Costa (PDL), en un escenario de cambio climático con 1 m de incremento del nivel medio del mar para el año 2100, la intrusión marina podría sobrepasar los 200 m, degradando severamente la calidad del acuífero, única fuente de abastecimiento en la región. Estos cálculos fueron realizados sin tener en cuenta la variación en el ancho del cordón costero, el cual, en muchos sectores, está siendo reducido a causa de la erosión. En Carretero et al. (2022a) se evaluó la variación en la línea de costa entre 2005 y 2021, en el sector norte del PDL, como un primer avance en la investigación de los cambios en la interfase agua dulce-agua salada. Se enfatizó el estudio en los sitios donde se han producido daños de infraestructura debido a dos sudestadas de importante magnitud en 2021. El estudio de los procesos erosivos asociados a las costas urbanizadas o en proceso de urbanización debe ser tenido en cuenta a la hora de la planificación del uso del suelo, asociado además a la vulnerabilidad del recurso hídrico.

El presente trabajo es la continuación de la línea de investigación que se ha establecido previamente y consiste en monitorear el comportamiento de los niveles freáticos y la conductividad eléctrica del agua en sectores de la costanera del PDL con el objetivo de establecer la relación entre el agua dulce del acuífero y el agua marina de acuerdo al grado de afectación de la erosión costera en el área de estudio.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a la costa arenosa de la Provincia de Buenos Aires, Argentina (Partido de La Costa) (Figura 1). Se reconocen dos ambientes geomorfológicos: el cordón costero y la llanura deprimida. El primero se caracteriza por la presencia de arenas finas con agua subterránea de baja salinidad, principalmente del tipo Ca-HCO_3 y Na-HCO_3 . En el segundo predominan los materiales limosos y arcillosos, y contiene agua de elevada salinidad, tipo Na-Cl (Carretero et al., 2013a).

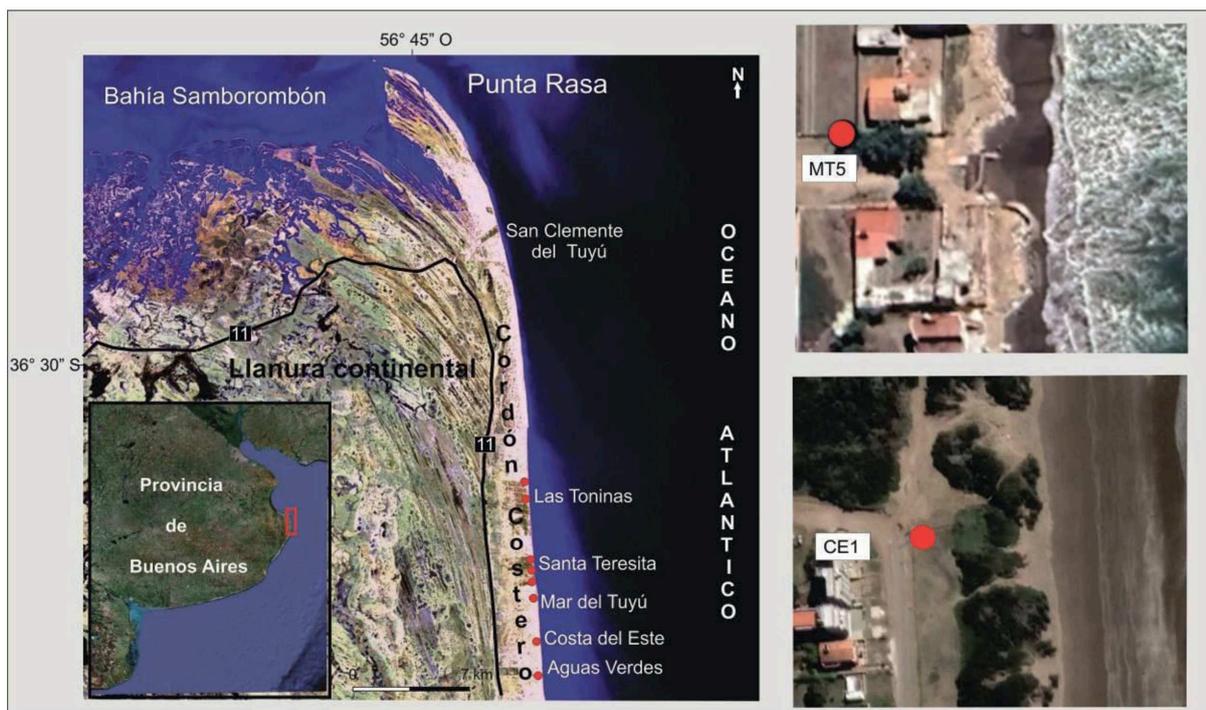


Figura 1. Área de estudio. Los puntos rojos indican la ubicación de los freatómetros sobre la costanera. De norte a sur: LT12, LT9, ST3, ST2, ST1, MT5, CE1, AV9. A la derecha, detalle de la localización de MT5 y CE1.

El acuífero principal de agua dulce está constituido por arenas de médanos superpuestas a arenas de barrera con un espesor promedio de 10 m y está limitado por dos interfaces, hacia el continente agua dulce-agua salobre y, hacia el mar, agua dulce-agua salada, siendo la única fuente de provisión de agua dulce para la población. El sector central del cordón costero es la zona de recarga principal, que se produce a partir de los excesos de las precipitaciones; la conducción se efectúa en un corto tramo, y se da la descarga en dos direcciones opuestas, una hacia el mar y la otra al oeste hacia la llanura deprimida. El espesor del acuífero se ve limitado por una zonación química y un gradiente vertical de la conductividad eléctrica, la cual se incrementa abruptamente entre los 5-7 m de profundidad (Carretero et al., 2016). En términos generales, la divisoria de agua subterránea coincide con las máximas alturas topográficas siguiendo una línea imaginaria orientada en sentido norte-sur. Se reconocen procesos puntuales de salinización (Santa Teresita) (Carretero et al., 2013b; Perdomo et al., 2013), los cuales se vinculan con una extracción intensiva del recurso que favorece el avance del frente salino.

METODOLOGÍA

Existe una red de monitoreo a lo largo del PDLC de donde se han seleccionado 8 freatímetros colocados sobre el frente costero de las localidades de Las Toninas (LT9, LT12), Santa Teresita (ST1, ST2, ST3), Mar del Tuyú (MT5), Costa del Este (CE1) y Aguas Verdes (AV9). Se realizan mediciones de carácter mensual en los pozos mencionados para establecer un valor de base del nivel freático y de conductividad eléctrica (CE) del agua. Se planificó medir los niveles durante eventos de sudestada para evaluar si existe o no influencia de las mareas en el agua subterránea. En el periodo analizado en este trabajo ocurrió un evento de marea extraordinaria (sicigia) el 5/1/2022 donde se midieron las variables analizadas.

La localización de los freatímetros se eligió en función del estado del frente costero ante la erosión marina. En la Tabla 1 además se incluye la clasificación del segmento según su vulnerabilidad a la erosión de acuerdo al estudio realizado por el Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS) (Lasta et al., 2019).

Se instalaron sensores de presión (data loggers) en los pozos CE1 y MT5 donde se registró el comportamiento de los niveles desde el 28/9/21 hasta el 20/12/21 con un paso de tiempo de 15 minutos para poder ser comparado con los datos de mareas.

A partir de los datos obtenidos de la estación mareográfica de Santa Teresita, perteneciente al Servicio de Hidrografía Naval (SHN), se realizaron los gráficos de las ondas mareales y se contrastaron con las fluctuaciones de los niveles freáticos. La estación cuenta con un sensor radar Siemens LR110 para la medición de las alturas horarias de marea que es realizada cada 15 minutos. El dato obtenido resulta del promedio de 2 minutos de mediciones continuas cuya configuración se realizó con el objeto de eliminar la influencia del oleaje sobre el resultado final.

Se han confeccionado mapas de niveles freáticos con datos del Consejo Federal de Inversiones (1990) tomados en agosto de 1987 y los medidos en la red de monitoreo actual para julio de 2021. El objetivo fue comparar especialmente las alturas de la capa freática en la zona de particular interés para este trabajo (sector de costanera, interfase agua dulce-agua salada).

Se han elaborado balances hídricos diarios para el período anual previo a los relevamientos de aguas subterráneas de 1987 y 2021, es decir que se analizaron los períodos septiembre-1986 a agosto-1987 y junio-2020 a julio-2021. Para la determinación de los excesos de agua se efectuaron balances hídricos diarios de acuerdo a los datos de precipitación disponibles y los valores de ETo (evapotranspiración de referencia) media diaria estimadas según el método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998) utilizando el programa AGROAGUA v.5.0 (Forte Lay et al., 1995). De acuerdo a las características de los sedimentos (Carretero et al., 2022), asociado a su elevada permeabilidad, en general no se observan procesos de escurrimiento superficial y se considera que los excesos del balance se transforman directamente en recarga al acuífero dentro del ambiente de médanos costeros.

Tabla 1. Características de la localización de los freaímetros

Pozo	Distancia pie médano o playa (m)	Estado de la costa (observado)	Vulnerabilidad OPDS (Lasta et al., 2019)
AV9	76	médano conservado	muy alta
CE1	68	médano conservado	muy alta
MT5	40	médano inexistente. Erosión y caída de casas	muy alta
ST3	83	médano inexistente, defensa (enquinchado)	muy alta
ST2	145	médano reducido, balneario. Planta impulsora Cooperativa	alta
ST1	170	médano inexistente (gaviones)	muy alta
LT9	33	médano parcialmente conservado	muy alta
LT12	67	médano inexistente (gaviones)	muy alta

RESULTADOS

■ Variaciones de niveles freáticos 1987-2021

La precipitación durante el año previo a cada uno de los relevamientos se encuentra en el entorno de los valores medios, entre 921 y 844 mm para 1987 y 2021 respectivamente, existiendo una diferencia del 13%. Los excesos de agua oscilan entre 424 mm en 1987 y 357 mm en 2021. Por lo tanto, se considera que los relevamientos responden a condiciones en que los balances hídricos son representativos de las condiciones climáticas medias y los excesos no presentan diferencias significativas. A partir de ello se puede reconocer que el ingreso de agua al sistema subterráneo no muestra variaciones importantes para las situaciones representadas. En cambio, el comportamiento de la capa freática no refleja esta situación.

En el sector norte, de 1987 a 2021 se observa que la curva isofreática de 1,5 msnm se redujo y desplazó hacia el sur de San Clemente. La curva de 3 msnm también se desplazó hacia el sur y manifestándose recién al norte de Las Toninas.

Desde Las Toninas al sur en 1987 (Figura 2) la curva de 4 msnm ocupaba el sector central del médano con sectores donde la capa freática alcanzaba los 5 msnm. Para 2021 (Figura 3), esta curva se reduce a sectores puntuales representado por curvas cerradas de escasa expresión areal. La curva de 5 msnm en 2021 se observa puntualmente solo al sur de Mar del Tuyú.

El sector de costanera en San Clemente se caracteriza por la presencia de la curva de 1 msnm en ambos periodos estudiados. Hacia el sur, en 1987, predomina la curva de 2 msnm a lo largo de la traza mapeada. En 2021, en el sector norte de Las Toninas, donde existe un grave problema de erosión costera, la capa freática presenta una altura de 0,5 msnm, que se incrementa hasta 1 msnm en Santa Teresita. En Mar del Tuyú, Costa del Este y Aguas Verdes la curva de 1,5 msnm predomina en el sector costanero.

■ **Análisis de las fluctuaciones de los niveles freáticos (septiembre 2021-enero 2022)**

En términos generales se observa un descenso de los niveles desde el inicio de las mediciones manuales (Figura 4). El pozo LT12 no presenta variaciones significativas y los niveles se encuentran muy cercanos al nivel del mar. Este sector se caracteriza por la desaparición total del médano y erosión de la línea de costa que ha afectado a las viviendas.

Sin embargo, para el 5/1/22 los niveles de los pozos AV9, LT9, MT5 y CE1 se elevan en comparación con la medición de diciembre 2021. De acuerdo a los registros, no hubo precipitaciones entre el 20/12/21 y el 5/1/22, con lo cual el incremento se debería al efecto de las mareas sobre el agua subterránea.

En noviembre 2021 se produjo un leve incremento de los niveles de algunos pozos (AV9, LT9 y MT5), los cuales podrían haber variado debido a los 40 mm de lluvias acumuladas. Pero si se analiza el registro continuo de MT5 y la medición puntual, el horario coincide con el pico máximo de la pleamar, lo cual podría haber elevado el nivel (Figura 5). Sin embargo, los niveles en CE1 muestran un descenso respecto de la medición anterior. El momento de toma de datos en este caso fue en una instancia de bajar en el mismo día. Por lo tanto, la variación de los niveles en estos pozos está condicionada al estado de la marea y la hora de medición.

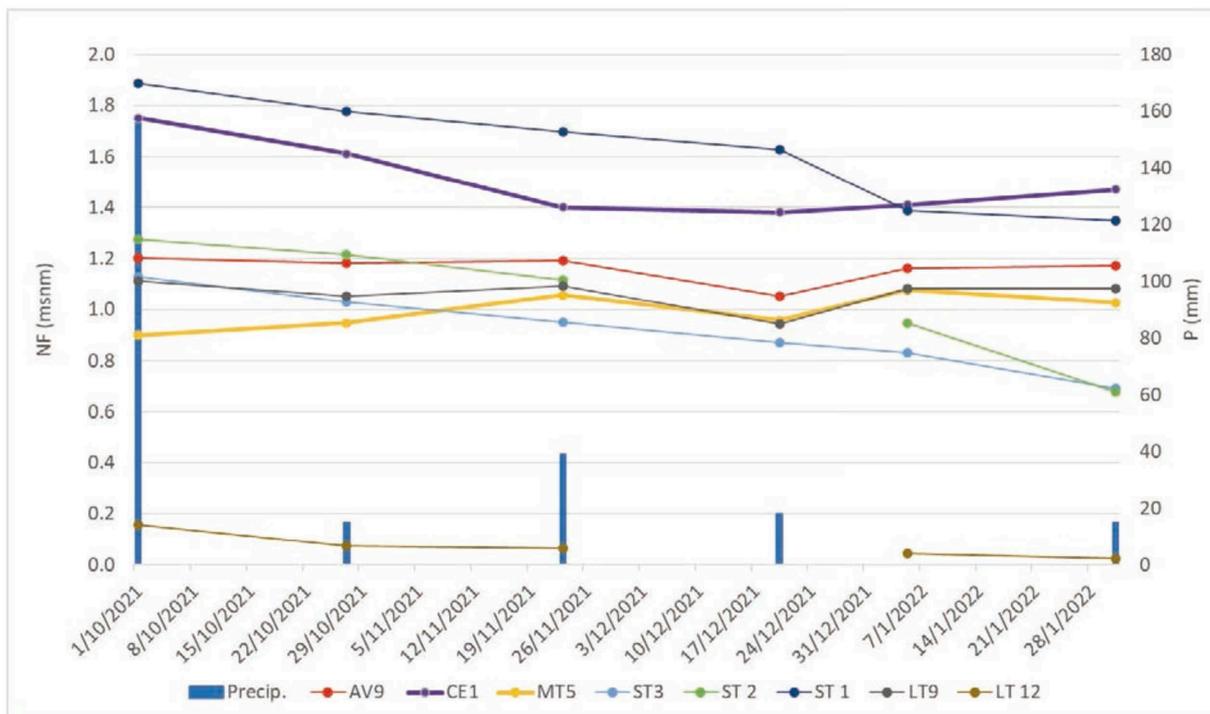


Figura 4. Comportamiento de los niveles freáticos de acuerdo a las mediciones manuales

En la Figura 5 se presentan las mareas junto con las mediciones continuas y manuales de los niveles de dos freatómetros. Se puede observar que en ambos casos los niveles oscilan de acuerdo a las variaciones de la marea. Es importante destacar que esta variación también se advierte en las mediciones puntuales y que cuando se representan en forma aislada sin incluir el efecto de las mareas los niveles parecieran oscilar sin causas de tipo climático, no habiendo coincidencia en el comportamiento entre los pozos (Figura 4).

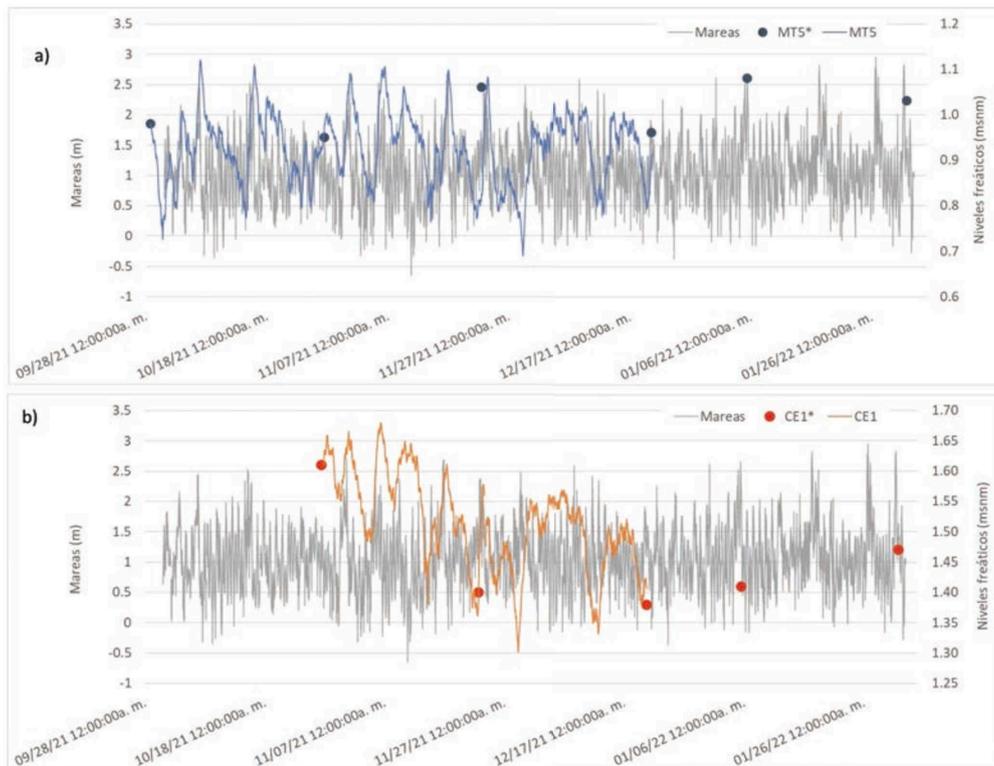


Figura 5. Comportamiento de los niveles freáticos de los pozos CE1 y MT5 de acuerdo a las oscilaciones de mareas. La medición por sensor de presión se denomina CE1 y MT5 y la manual CE1*, MT5*.

■ **Análisis de conductividad eléctrica (septiembre 2021-enero 2022)**

En cuanto al monitoreo de la CE, se esperaba observar un incremento de la misma con el aumento de los niveles producto de las mareas elevadas. Como se ha mencionado, desde el inicio de este estudio no se han producido tormentas de gran importancia que hayan afectado las concentraciones salinas. Se puede observar en la Figura 6 que, en términos generales, la CE es bastante uniforme en cada pozo, a excepción del LT9 que sí registró un aumento en la medición del 5/1/22, pasando de 440 a 932 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y retornando a 571 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el siguiente muestreo. El pozo CE1 muestra un incremento constante de la CE a lo largo del periodo estudiado que implica un 20% de variación. La CE de ST1 y ST3 aumenta al inicio del monitoreo para luego mantenerse dentro del mismo rango de valores.

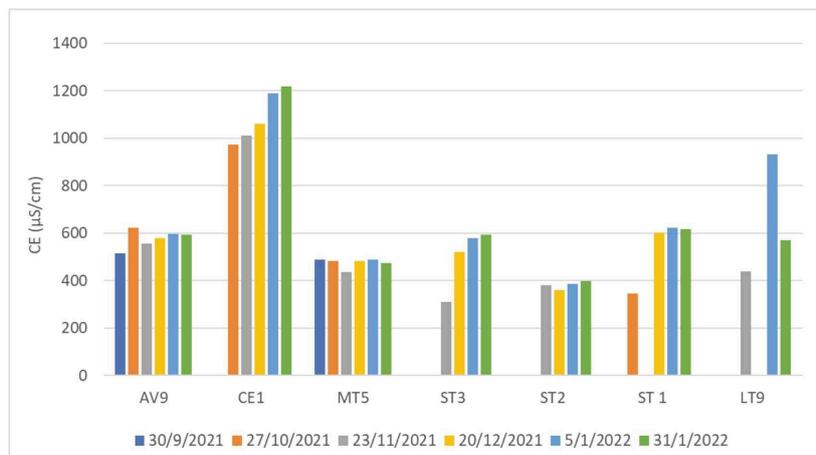


Figura 6. Comportamiento de la CE

CONCLUSIONES

Este trabajo expone los primeros resultados del seguimiento del comportamiento de los niveles freáticos y la CE del agua asociados a sectores afectados por erosión marina y sectores conservados en el PDLC.

Entre 1987 y 2021 la altura de la capa freática ha descendido, lo que se corresponde con una reducción en las reservas de agua dulce. Las curvas isofreáticas en el sector de la interfase agua dulce-agua salada pasan de 2 msnm a sectores con 0,5, 1 y 1,5 msnm, lo cual podría interpretarse como un desplazamiento de la cuña salina hacia el continente.

No se han registrado tormentas (sudestadas) durante el periodo estudiado, pero sí un evento de marea extraordinaria ante el cual algunos niveles se ven afectados. La CE en general se mantiene estable, salvo en un pozo donde se manifiesta un incremento durante el evento. Las precipitaciones acumuladas en el periodo no parecen ser suficientes para generar un incremento de la capa freática. Los registros de mediciones continuas demuestran que las oscilaciones de los niveles freáticos se corresponden a las ondas de marea.

Hasta el momento no se observa un comportamiento diferencial entre los datos de las zonas afectadas por distintos grados de erosión y las conservadas. Este estudio se encuentra en sus etapas iniciales, por lo que se continúa con la recopilación de información. Dado el alto índice de vulnerabilidad a la erosión establecido según OPDS, resulta de importancia el monitoreo de la interfase costera ya que existen antecedentes de intrusión marina en la región.

REFERENCIAS

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. y Martin Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and drainage papers 56. FAO, Rome.
- Forte Lay, J.A., Aiello, J.L. y Kuba, J., 1995. Software AGROAGUA v.5.0. CIBIOM CONICET, Buenos Aires.
- Carretero, S., Dapeña, C. y Kruse, E., 2013a. Hydrogeochemical and isotopic characterisation of groundwater in a sand-dune phreatic aquifer in the northeastern coast of the province of Buenos Aires. Argentina. *Isotopes in Environmental & Health Studies* 49(3): 399-419.
- Carretero, S., Kruse E. y Rojo, A., 2013b. Condiciones hidrogeológicas en Las Toninas y Santa Teresita, Partido de La Costa. En: N. González, E. Kruse, M.M. Trovatto y P. Laurencena (Editores) *Temas actuales en hidrología subterránea 2013*. ISBN 978-987-1985-03-6. La Plata, EDULP, pp 28-35.
- Carretero, S., Perdomo S., Kruse, E. y Ainchil, J., 2016. Respuesta eléctrica de la zonación química en un nivel acuífero en la costa arenosa oriental de la Provincia de Buenos Aires. En: García R. y Mariño E. (Editores) *Calidad del agua subterránea*. Editorial Científica Universitaria - Secretaría de Ciencia y Tecnología - Universidad Nacional de Catamarca, pp 93-100. San Fernando del Valle de Catamarca, Catamarca.
- Carretero, S., Barrientos, C.M., Balzarini, A. y Marcomini, C., 2022a. Sudestadas: erosión, daños estructurales y vulnerabilidad del recurso hídrico en el Partido de La Costa. *Actas del XXI Congreso Geológico Argentino*. Puerto Madryn, Chubut, marzo de 2022, 495-496.
- Carretero S., García Galluzzi A., Kruse E., 2022b. Coastal aquifer behaviour related to the textural and mineralogical characteristics of the sands in the eastern coast of the province of Buenos Aires. *Journal of South American Earth Sciences* 114 (2022) 103692.
- Consejo Federal de Inversiones, 1990. Evaluación del Recurso Hídrico Subterráneo de la Región Costera Atlántica de la Provincia de Buenos Aires, Región 1 Punta Rasa-Punta Médanos. Informe Final 1 Hidrología Subterránea, p 177, Buenos Aires.
- Lasta, C., González, E., Verón, E., Ortale, M. y Camiolo, M., 2019. Evaluación de la Vulnerabilidad a la Erosión del Frente Costero de la provincia de Buenos Aires. Informe Anual General 2019. OPDS. ISBN en trámite.
- Perdomo, S., Carretero, S., Kruse, E. y Ainchil, J., 2013. Identificación de la intrusión salina en Santa Teresita (Buenos Aires), mediante la aplicación de métodos eléctricos. En: N. González, E. Kruse, M.M. Trovatto y P. Laurencena (Editores) *Temas actuales en hidrología subterránea 2013*. EDULP, pp 44-49. La Plata.