



Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente • N.º 50 • 2023 • ISSN 2422-5703 • <https://www.editoriasagai.org.ar/>
Carretero S.C., Rodrigues Capítulo L., Dell' Arciprete D.D. y Kruse E.E.
Zonación química vertical del acuífero costero bonaerense: comportamiento de la interfase
e008, <https://doi.org/10.59069/24225703e008>

Zonación química vertical del acuífero costero bonaerense: comportamiento de la interfase

Vertical chemical zonation of the coastal aquifer of buenos aires: the interface behavior

 Silvina Claudia Carretero^{1,2*}   Leandro Rodrigues Capítulo^{1,2} 
 Daiana Denise Dell' Arciprete^{1,2}   Eduardo Emilio Kruse^{1,2} 

* Contacto

Recibido: 29 de mayo de 2023 • Aceptado: 20 de julio de 2023 • Publicado: 3 de agosto de 2023

Resumen

La presencia de zonación química en el agua subterránea frecuentemente se relaciona con la serie de Chebotarev y en general se presenta de forma lateral desde la zona de recarga hasta la descarga. En el acuífero costero del Partido de La Costa, Buenos Aires, se detectó una zonación química vertical. El objetivo del trabajo fue evaluar el comportamiento de la interfase de la zonación química vertical ya que este conocimiento es de importancia para los prestadores de servicio de agua potable a la hora de planificar la profundidad de las perforaciones. Se concluye que se trata de una interfase naturalmente dinámica influenciada por las condiciones hidrológicas y el ambiente geomorfológico.

Palabras clave: acuífero costero, conductividad eléctrica, interfase.

Abstract

The presence of groundwater chemical zonation related to Chebotarev sequence in general is presented in lateral disposition from the recharge to the discharge zone. In the coastal aquifer in the Partido de La Costa, Buenos Aires, a vertical chemical zonation was detected. The aim of this work was to evaluate the behavior of the interface in the vertical chemical zonation due to its importance for the drinking water supply service when planning the wells depth. It is concluded that the interface is naturally dynamic, influenced by the hydrogeological conditions and the geomorphological environment.

Keywords: coastal aquifer, electrical conductivity, interface.

1. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

2. Centro de Estudios Integrales de la Dinámica Exógena, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata.

Introducción

El manejo de los recursos hídricos en las localidades de la costa arenosa de la provincia de Buenos Aires es de gran importancia debido a sus limitadas reservas y la creciente demanda que requieren en épocas estivales. Esto se asocia a la principal actividad económica que es el turismo.

En San Clemente del Tuyú, Partido de La Costa (PDLC), Buenos Aires. sólo un bajo porcentaje de los habitantes obtienen agua potable de red a partir del servicio otorgado por la Cooperativa de Obras y Servicios. El resto de la población se abastece de manera particular consumiendo agua sin tratamiento y utilizando el recurso sin ningún tipo de control de caudales.

El conocimiento del espesor del sistema acuífero y la calidad química son relevantes para la gestión a la hora de establecer metodologías y caudales de explotación.

En el campo de bombeo, ubicado fuera del área urbanizada al sur de la localidad, no se poseían registros de perforaciones profundas, sino que se han manejado con datos a nivel regional (Consejo Federal de Inversiones, 1989). Tampoco se había evaluado la existencia de variaciones químicas en profundidad por falta de los mencionados pozos.

La presencia de zonación química en el agua subterránea frecuentemente sigue el patrón de comportamiento definido en la serie de Chebotarev y en general se presenta de forma lateral desde la zona de recarga hasta la descarga.

Sin embargo, en el acuífero costero en estudio, se de-

teció una zonación química vertical que fuera analizada por primera vez por Carretero et al. (2016) donde los resultados indicaron que el acuífero no es homogéneo en cuanto a su calidad química. Se diferenciaron dos zonas, A y B, donde la primera presenta aguas de baja salinidad y de tipo bicarbonatado cálcico, mientras que la segunda posee elevada salinidad y el agua se clasifica como clorurada sódica.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento de la interfase de la zonación química vertical que divide al acuífero en zonas A y B. Dicho propósito resulta relevante ya que este conocimiento es de importancia para los prestadores de servicio de agua potable como una herramienta básica para definir la profundidad de las perforaciones de explotación y así evitar un proceso de salinización desde los niveles inferiores.

Zona de estudio

El área de estudio corresponde a la costa arenosa de la provincia de Buenos Aires, Argentina (Partido de La Costa) (Figura 1A).

El clima es templado húmedo, con una estación seca en los meses fríos (abril-septiembre) y una húmeda en los meses cálidos (octubre-marzo). La precipitación media anual oscila entre los 900 y 1000 mm, donde el 60% se produce en los meses con mayor evapotranspiración (cálidos) por lo que la mayor recarga del agua subterránea se produce durante la estación fría (Carretero y Kruse, 2012).

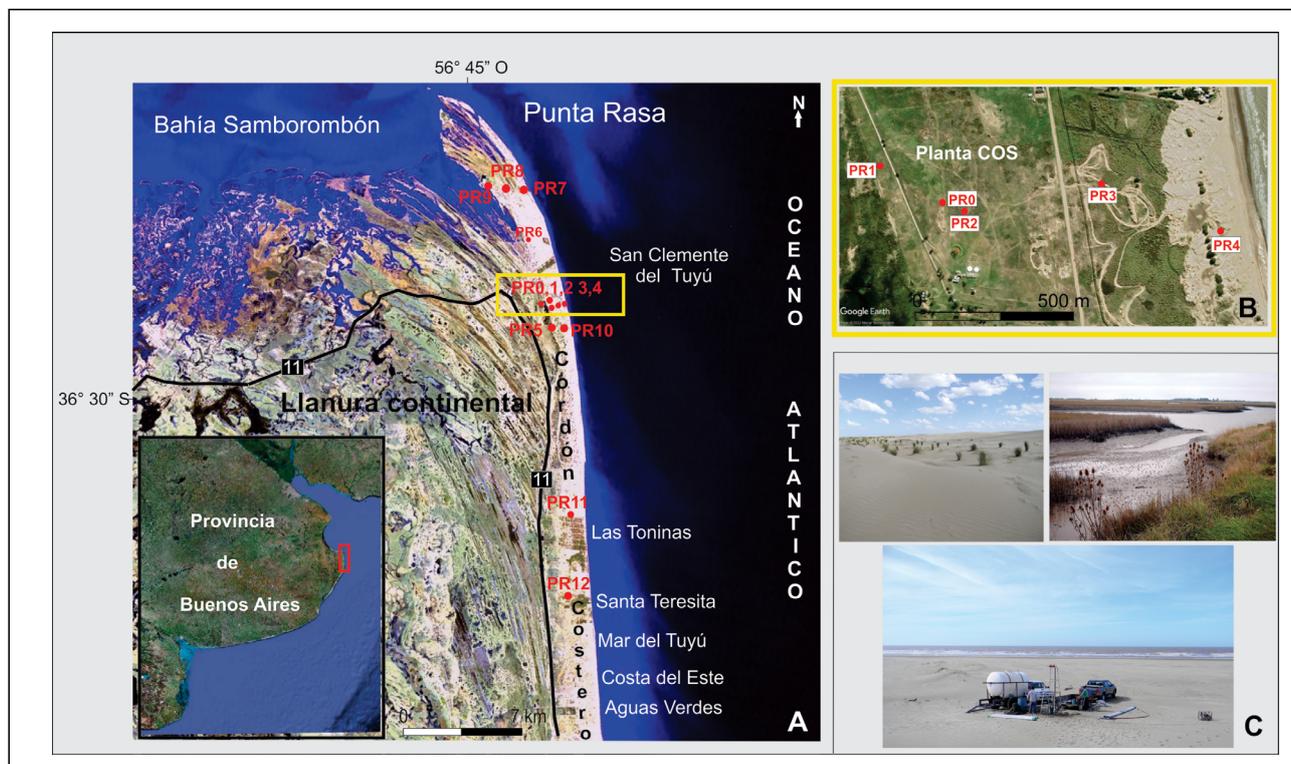


Figura 1. A) Área de estudio, B) detalle del sector de la planta de la cooperativa de agua (COS) en recuadro amarillo, C) ambientes geomorfológicos: izquierda, cordón costero; derecha, llanura deprimida; abajo, sector de playa.

El perfil estratigráfico realizado por Carretero et al. (2022a) correlacionando las muestras analizadas con las formaciones geológicas definidas por Violante et al. (2001) indica que hasta los 3,5 m de profundidad se observa una arena clara, de origen eólico, con fragmentos de conchillas que corresponde a la Formación (Fm) Punta Médanos. Por debajo y hasta los 8 m aparecen arenas más oscuras lo cual se correlaciona con el ambiente de barrera de la Facies Mar de Ajó (Fm Pozo nº 17). En adelante y hasta los 11 m se detecta una arena más oscura y fina, muy arcillosa con fragmentos de conchillas. Luego de los 11 m la litología cambia a arcillas arenosas con conchillas que gradan a arcilla gris con fragmentos de conchillas gruesas (5 mm) lo cual constituye la Facies Destacamento Río Salado de la Fm Pozo nº 8. Desde el punto de vista hidrológico la Fm Punta Médanos, la Facies Mar de Ajó y la parte superior de la Facies Destacamento Río Salado constituyen la unidad acuífera, mientras que los niveles arcillosos se comportan como acuitado/acuícludo.

Se reconocen dos ambientes geomorfológicos (Figura 1C), 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.

El acuífero freático presenta un espesor promedio de 10 m y está limitado por dos interfases, 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.

Como se ha mencionado, el espesor del acuífero se ve limitado por una zonación química y un gradiente vertical de la conductividad eléctrica (CE), 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 intrusión salina (Santa Teresita) los cuales se vinculan con una extracción intensiva del recurso que favorece el avance del frente salino proveniente del mar.

Metodología

Se realizaron 13 pozos de reconocimiento (PR) (Figura 1A, B) abarcando el espesor total de la unidad acuífera. Los pozos fueron diseñados con cañería ranurada en la totalidad de su extensión para permitir el normal funcionamiento del flujo subterráneo.

Mediante una sonda Solinst TLC meter se midió la CE del agua y profundidad en los PR en mayo-15, octubre-16,

abril-17, julio-17, octubre-18, diciembre-20, marzo-21, julio-21, septiembre-21, diciembre-21 y marzo-22.

Se realizaron perfiles de CE vs profundidad para las diferentes fechas de control, se agruparon los perfiles de acuerdo a su localización en los ambientes: sectores al oeste del cordón costero, sector central, y al este, relacionado además con zonas de descarga y recarga principal.

Se confeccionaron diversos gráficos para evaluar la relación entre la CE promedio de la zona B y los niveles freáticos. También se estudió la relación entre la variación de la profundidad de la interfase, los niveles freáticos y los excesos del balance hídrico.

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. 2022a) 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.

Resultados

Variaciones de nivel freático

Debido a que las mediciones de CE en los PR, en principio, no fueron tomadas con un paso de tiempo homogéneo se graficó el comportamiento del nivel freático del pozo de observación (PO3) ubicado a 5 m de PR-3 (Figura 2) para analizar el funcionamiento de la capa freática durante el periodo estudiado.

En general, se observa una relación directa entre los niveles freáticos y los excesos del balance hídrico excepto en algunas mediciones de PR-0, PR-1 y PR-2 lo cual podría ser consecuencia de la extracción de agua en el campo de bombeo en donde se encuentran ubicados. Este comportamiento generalmente ocurre entre marzo-abril, luego de la temporada turística, y reflejaría la explotación intensiva en los meses de verano. Los niveles más altos se observan en julio-18 para PO3 y para los PR en octubre-18, producto de los elevados excesos acumulados en los meses previos al monitoreo.

Variaciones de CE según el ambiente

Para PR-1 (Figura 3A), localizado en la transición hacia la llanura deprimida, la CE de la zona A oscila entre 2.000 y 10.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ mientras que en la zona B el máximo puede exceder de 30.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un valor medio de 6.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En esta perforación se observa que la interfase se desplaza entre los 6,5 y 9,5 metros bajo boca de pozo (mbbp). En mayo-15 se observó la posición más elevada, mientras que en octubre-16 toda la columna de agua presenta valores

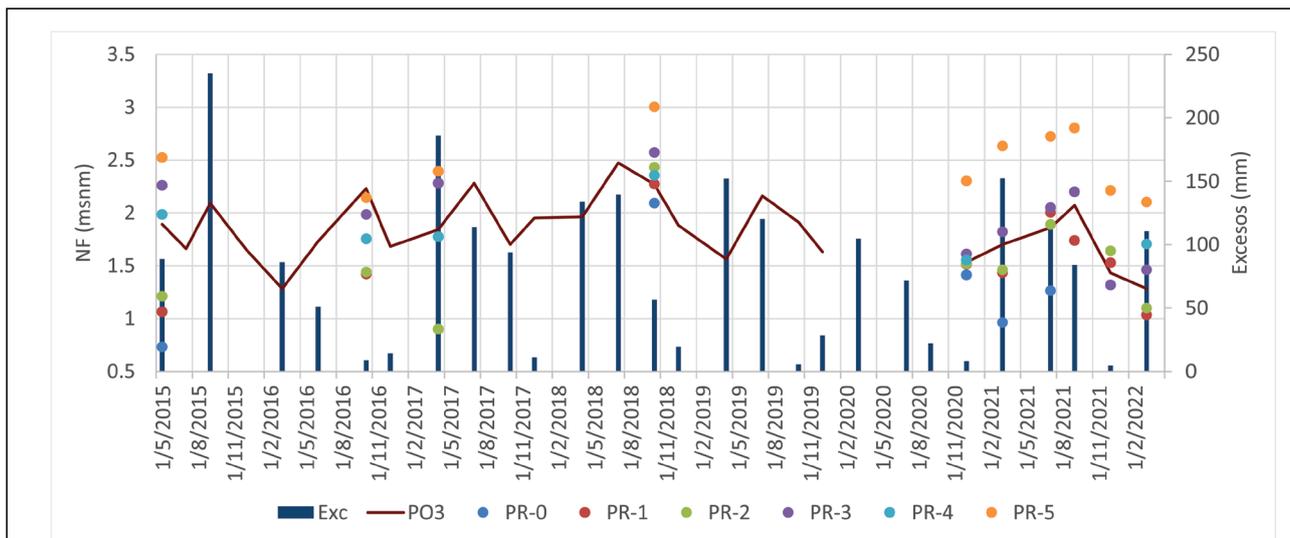


Figura 2. Variaciones del nivel freático (NF) para PO3 medidos cada 90 días aproximadamente y excesos acumulados en el mismo periodo. En 2020 se vio interrumpido el registro hasta diciembre donde pudo retomarse las mediciones. Los puntos indican los niveles para los PR en las fechas correspondientes.

mayores a 20.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ los cuales se incrementan con la profundidad de manera gradual llegando al máximo de casi 31.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con la consecuente desaparición de la zona A. En abril-17 la zona A se manifiesta con sus valores medios en el orden de 10.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y la zona B con 20.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a los 9,5 mbbp.

En el caso de PR-3 (Figura 3B), ubicado en el centro del médano, la interfase se desplaza entre los 5 y los 10 mbbp. El momento donde la interfase se encuentra más elevada,

alrededor de los 5 mbbp, es en octubre-16. Para octubre-18 se da la situación donde la interfase se observa a mayor profundidad (10 mbbp). La CE para la zona A oscila entre 700 y 1.800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en cambio para la zona B estos valores se encuentran entre 3.000 y 14.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

El pozo PR-4 (Figura 3C) se localiza en la playa, en la zona de descarga hacia el mar. La interfase es más uniforme en este caso, encontrándose en la mayoría de las mediciones a 7,5 mbbp, oscilando entre 6,5 y 8 mbbp. La CE promedio de

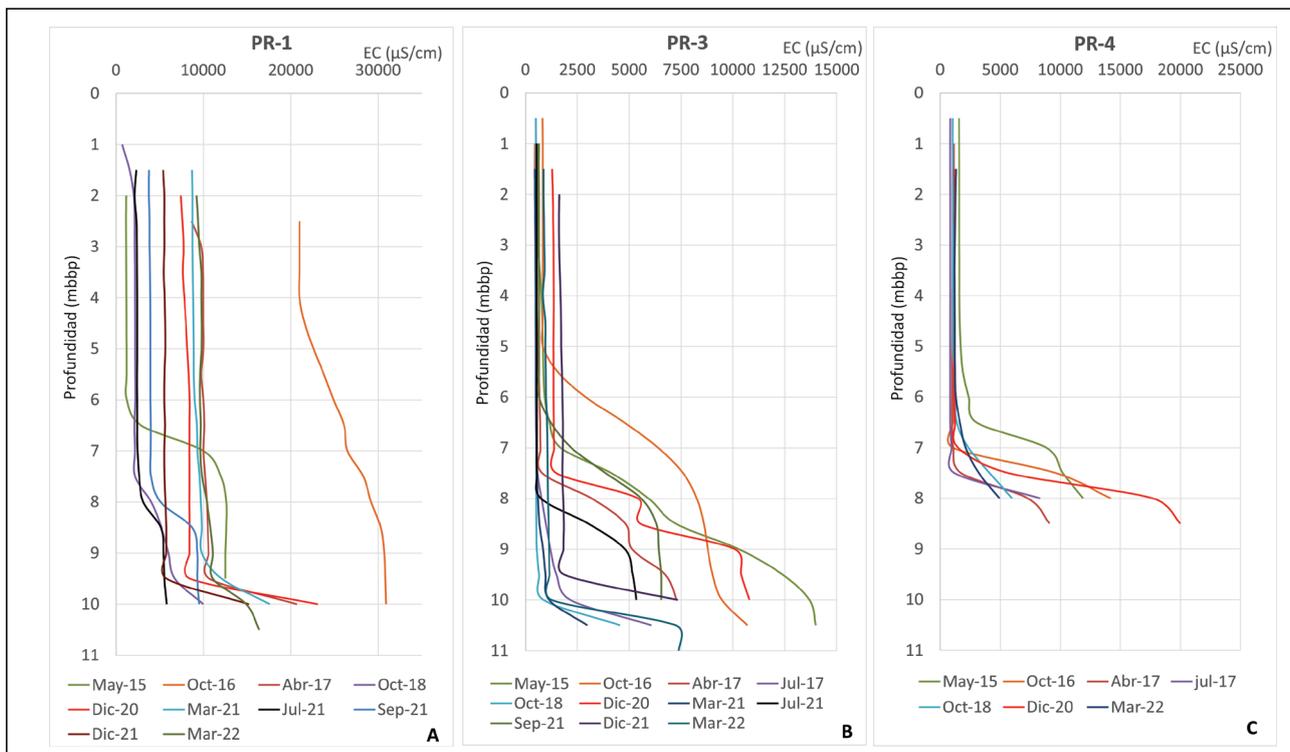


Figura 3. Perfiles de conductividad eléctrica en diferentes fechas para los pozos A) PR1, B) PR3, C) PR4 localizados al oeste, centro y este del cordón costero respectivamente.

la zona A es del orden de los 1.200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y la zona B oscila entre 3.000 y 20.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Además de las observaciones realizadas según el ambiente geomorfológico fue necesario estudiar el comportamiento respecto de la localización, de norte a sur, donde también se reconocieron diferencias.

En el perfil oeste-este, tanto para la zona A como la B, la CE en sus valores medios en el sector norte desciende en dirección W-E (Figura 4A). Para el sector sur, el valor medio más bajo se observa en la zona central y el más alto al oeste (Figura 4B).

Para el perfil norte-sur, en la zona A el mayor valor medio se observa al sur (afectación por bombeo), pero en la zona B se localiza en el centro del perfil (Figura 4C). Una disminución en la concentración de la CE media en sentido N-S se observa para ambas zonas en el sector central (Figura 4D).

Para el sector este del perfil, en la zona A se presentan

valores similares, mientras que en la zona B los valores más altos se obtuvieron al norte (Figura 4E).

Variaciones de CE según condiciones hidrológicas

Se analizó el comportamiento de la CE en dos perfiles medidos en condiciones de niveles freáticos elevados (octubre-18, Figura 5A) y niveles deprimidos (marzo-22, Figura 5B). La CE tanto para la zona A como la B es mayor en marzo-22 para todos los pozos. La diferencia es de menor magnitud para PR-4, PR-10 y PR-12. Este incremento en los valores de CE a su vez viene acompañado, en general, de una somerización de la interfase.

Enfatizando el análisis en la zona B (Figura 6A, B, C, D), en términos generales se observa que los valores de la CE disminuyen cuando suben los niveles, pero esta relación no es tan clara en todos los casos y fechas analizadas. Sí se verifica una coincidencia entre los valores más elevados den-

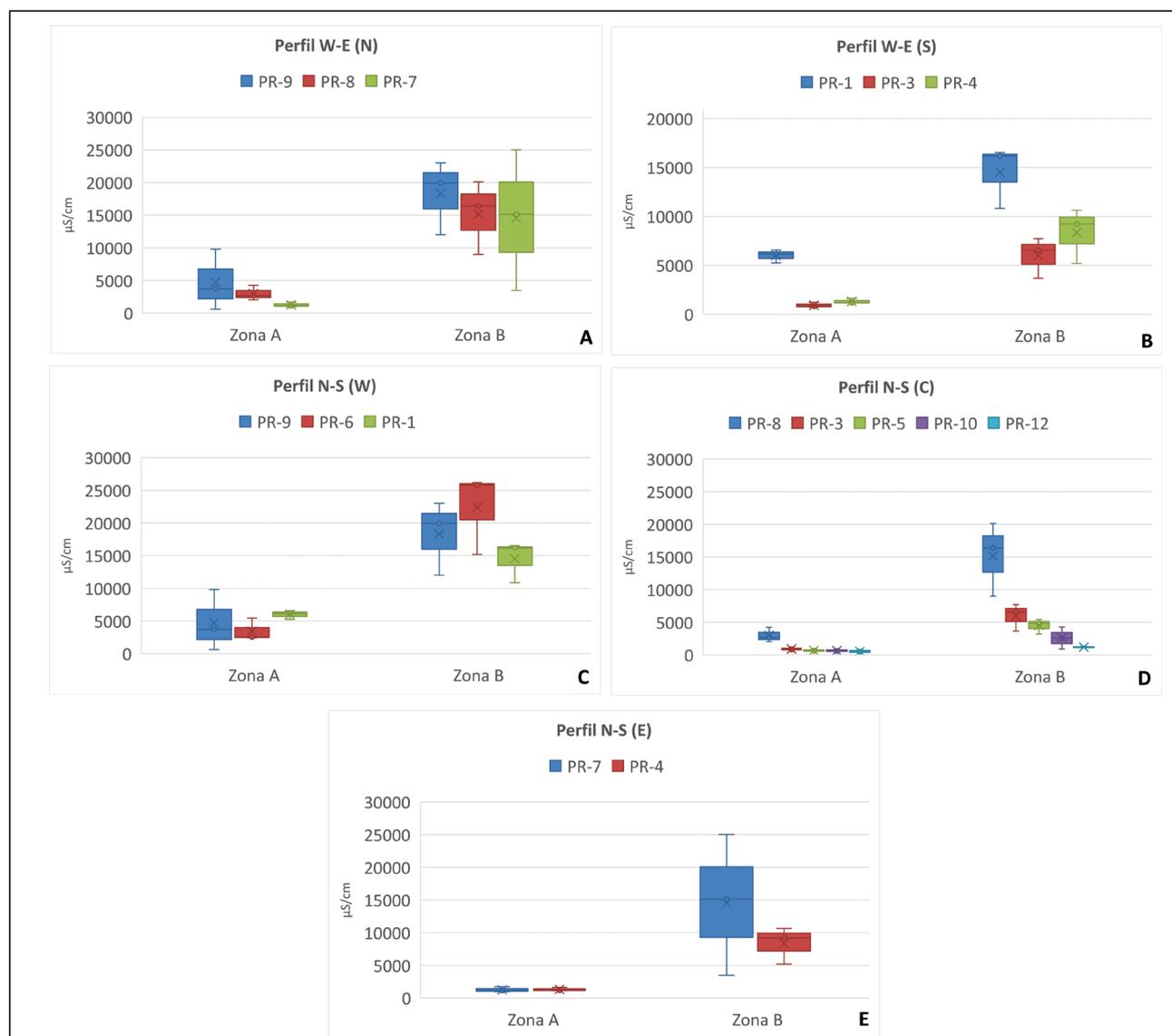


Figura 4. Diagramas de cajas y bigotes para la zona A y B organizados según la localización de los PR. A) Perfil W-E sector norte; B) Perfil W-E sector sur; C) Perfil N-S, sector oeste; D) Perfil N-S, sector central; E) Perfil N-S, sector este.

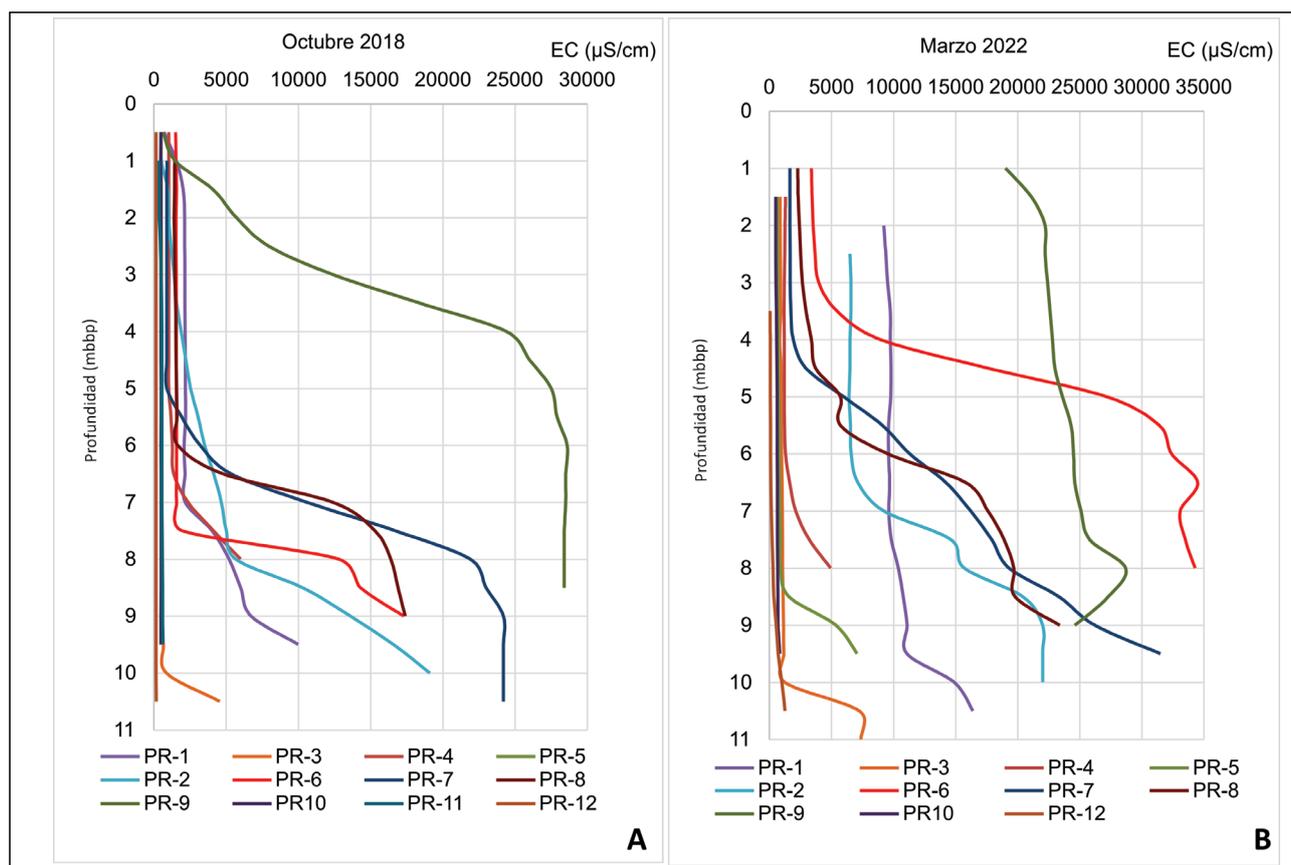


Figura 5. Perfiles de CE para dos situaciones hidrológicas diferentes A) niveles freáticos elevados: octubre-2018; B) niveles freáticos deprimidos: marzo-2022.

tro del periodo monitoreado y la CE más baja en octubre-18 para todos los pozos.

En la Figura 6B se puede observar el comportamiento para PR-3 donde hasta diciembre-20 existe una relación inversa entre niveles y CE, pero a partir de esa fecha la relación parece invertirse y se vuelve poco clara hasta marzo-22.

Para PR-4 (Figura 6C) las menores concentraciones medias de CE están en el orden de los 4.000 µS/cm. Esta situación ocurre tanto en octubre-18, coincidiendo con el nivel más elevado, como en marzo-22 cuando el mismo se encontraba 0,65 m más profundo.

En el caso del PR-5 (Figura 6D) para octubre-18 la zona B desaparece coincidiendo con la instancia de niveles más elevados.

DISCUSIÓN

En el acuífero costero del PDLC se detectó una zonación química vertical, cuyo origen y comportamiento se ha ido estudiando en el tiempo. Carretero et al. (2016) analizaron por primera vez la relación entre la litología, la CE del agua subterránea y la respuesta eléctrica en los materiales que componen al acuífero. Los resultados indicaron que el acuífero es homogéneo en cuanto a su litología, pero no a su calidad química. Existe una zonación que permite diferenciar

unidades con agua subterránea de baja conductividad eléctrica (< 1.500 µS/cm) hasta los 5 y 7 m de profundidad. Por debajo los valores se incrementan, alcanzando 18.000 µS/cm a los 11 m. Se encontró una buena correlación entre los valores de conductividad eléctrica del agua y los modelos de resistividad propuestos, pudiéndose verificar la efectividad del método en determinar estas variaciones.

Posteriormente Carretero et al. (2017) realizaron análisis químicos en ambos sectores de la zonación definida por la CE. Estos análisis confirmaron que la zonación manifestada en los cambios de CE se corresponde con una mayor concentración de cationes y aniones en profundidad. De esta manera la unidad acuífera arenosa se dividió dos zonas de acuerdo a sus características químicas. La zona A (0 - 6 m) es el sector caracterizado por aguas bicarbonatadas cálcicas y la zona B (> 6 m) la que presenta aguas cloruradas sódicas. Las concentraciones de la totalidad de los cationes y aniones de la zona B la convierten en no apta para consumo humano. En ese trabajo se discute sobre la necesidad de realizar más estudios para establecer el origen de la elevada salinidad que caracteriza a las aguas más profundas. Preliminarmente se exponían algunas hipótesis mediante las cuales se podría adjudicar la elevada salinidad a un pasaje de agua vertical ascendente desde el nivel arcilloso inferior (acuitardo). Estas arcillas son de origen de marismas o lagunas costeras y contendrían agua salinizada. Adicionalmente, se planteó la posibilidad de un flujo más lento debido a una menor conducti-



Figura 6. Relación entre la CE promedio de la zona B y los niveles freáticos (NF) para los pozos A) PR1, B) PR-3, C) PR-4 y D) PR-5.

vidad hidráulica consecuencia del incremento del contenido de arcillas en profundidad y menor gradiente hídrico. Dicha condición permitiría un mayor tiempo de residencia del agua en contacto con los sedimentos portadores de agua salada.

Recientemente Carretero et al. (2022b) anexaron a los datos hidroquímicos las relaciones isotópicas mediante el uso de los isótopos estables deuterio (²H) y oxígeno-18 (¹⁸O). Los resultados indicaron que el agua de las zonas A y B son diferentes. Existe una variabilidad en la composición isotópica y en la salinidad de la zona B, en los diferentes pozos analizados y entre muestreos. Se observó, además, que el contenido isotópico de la zona B se encuentra más enriquecido y con valores de exceso de deuterio menores al 10 % comparado con las muestras de las aguas de la zona A. De acuerdo a los datos disponibles hasta el momento, tanto las variaciones isotópicas como en salinidad podrían explicarse por la ocurrencia de varios procesos que podrían estar actuando simultáneamente, pero no estarían relacionados al agua salada contenida en las arcillas del acuitardo ya que el origen es meteórico.

Los acuíferos alojados en las dunas costeras constituyen reservorios de agua dulce que pueden resultar la única fuente de abastecimiento a poblaciones (Custodio, 2010). El riesgo potencial de intrusión salina es un factor a tener en cuenta en la gestión de un acuífero costero. La planificación a largo plazo es más una excepción que la regla, lo cual se relaciona, entre otras causas, con la falta de conocimiento del sistema (Cheng y Ouazar, 2004). En general, la planificación comienza cuando un problema de intrusión salina ha sido detectado o se percibe el riesgo en un futuro inmediato. Usualmente en los ambientes costeros la contaminación del agua dulce con agua salada proviene de la intrusión de agua marina en el continente, pero dependiendo las características químicas del acuífero, también se puede producir desde niveles más profundos. Tal fue el caso descrito en el

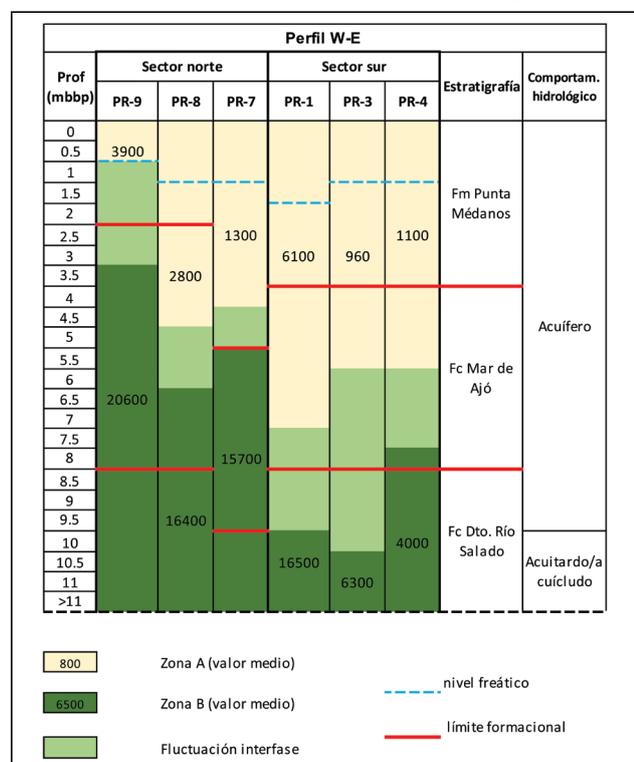


Figura 7. Perfil hidrológico y relación con las zonas A y B, junto con los rangos de fluctuación de la interfase para el perfil W-E.

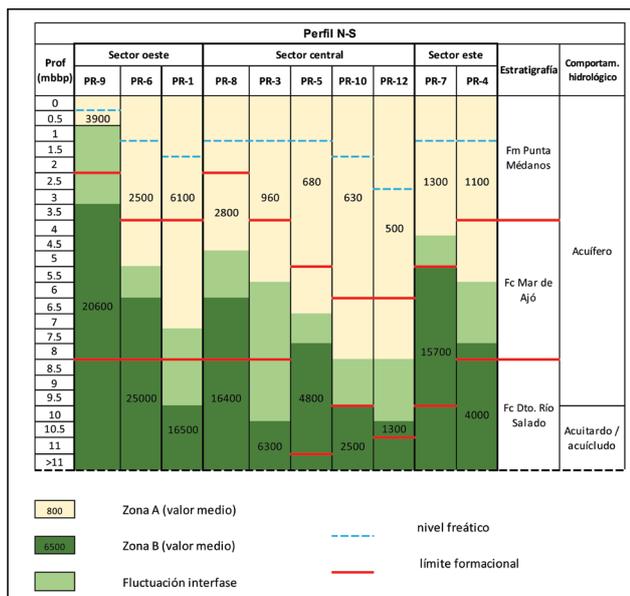


Figura 8. Perfil hidrológico y relación con las zonas A y B, junto con los rangos de fluctuación de la interfase para el perfil N-S.

campo de extracción de San Clemente (Carretero et al. 2017) donde se ha observado un desmejoramiento de la calidad química del agua en el área de captación con una extracción más intensiva y menos rotación de uso de las perforaciones. Durante el bombeo se produjo una salinización de los pozos proveniente de los niveles inferiores (zona B). Este fenómeno ha sido detectado por variadas metodologías: medición de CE in situ, registro continuo de CE durante la temporada y por medio de una tomografía eléctrica.

Hasta ese momento se suponía que la interfase entre las zonas A y B oscilaba producto de la extracción de agua por bombeo, pero de acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo, a estas variaciones se le suman los movimientos naturales asociados al ciclo hidrológico. Esto es de destacar ya que la profundidad de colocación de los filtros suele ser fija, alrededor de 6 m, pero la localización de la interfase no lo es. Esto representaría un riesgo mayor de salinización en periodos de escasos excesos acompañado de la somerización de la interfase.

A modo de síntesis se presentan las Figuras 7 y 8 donde puede observarse la relación entre las formaciones geológicas, su comportamiento hidrogeológico, la profundidad del nivel freático medio, la definición de las zonas A y B y el rango de fluctuaciones. El desarrollo de los perfiles se efectuó para las transectas N-S y W-E. Se verifica que los tipos litológicos no se correlacionan con la zonación química vertical, por lo que podría inferirse que el control de la calidad química no depende, al menos de manera directa, de los mismos. No obstante, cabe destacar que en las perforaciones localizadas más al sur (PR-10 y PR-12), en la sección central del cordón costero, el espesor de la zona A se incrementa conforme aumenta el desarrollo de las unidades arenosas. También es el sector que presenta los valores más bajos de CE. La informa-

ción en estos diagramas podría ser de utilidad para los prestadores del servicio, ya que da un panorama general de la profundidad a la cual se encuentra la interfase salobre según su localización, y advierte sobre el límite para la colocación de filtros y extracción del agua subterránea.

Conclusiones

La interfase de la zonación química vertical en el acuífero costero presenta una naturaleza dinámica, siendo sus principales forzantes las características del medio físico que la aloja y la relación entre la recarga y descarga (extracción) del sistema acuífero.

La definición de las zonas A y B es variable de una perforación a otra. En los primeros estudios se estableció que la primera correspondía a valores de CE menores a 1.500 µS/cm y la segunda a mayores. Pero el seguimiento de esta variable en el tiempo permitió establecer que la zona A presenta CE mucho mayores en los PR localizados en la cercanía de la llanura deprimida.

Contrariamente a lo que se puede esperar en un acuífero costero, la interfase de los PR localizados en las proximidades del mar resultó ser la más estable con pocas variaciones en profundidad a lo largo del tiempo. En este caso, no se ha detectado la presencia de la cuña salina proveniente de la interfase agua dulce – agua salada marina.

Existe una relación inversa entre los niveles freáticos y la CE en la zona B. En periodos de menores excesos hídricos se produce un incremento en los valores de CE, los cuales coinciden con una somerización de la interfase.

De acuerdo a los estudios antecedentes y los resultados obtenidos en el presente trabajo, podría considerarse que el funcionamiento del acuífero costero se ve influenciado además de la recarga directa, por una recarga lateral desde la llanura deprimida. Considerando que este ambiente está conectado y recibe agua desde la Bahía de Samborombón, esta condición resultaría en diferentes proporciones de mezclas de agua. Más evidente es la influencia de la recarga durante eventos de elevadas precipitaciones que remueve y reemplaza el agua salobre, evidenciado por el descenso en los valores de la CE y la profundización de la interfase.

Estos resultados son un aporte de importancia para los prestadores de servicios de agua potable, tanto para ajustar los volúmenes y tiempos de explotación como para la planificación de nuevas perforaciones de abastecimiento.

La variabilidad en la profundidad de la interfase es un factor muy importante al momento de establecer la profundidad de explotación para evitar la salinización del sector superior del acuífero. Una mejora en el grado de conocimiento del sistema hidrológico permite realizar una explotación sustentable del recurso, evitando realizar perforaciones que extraigan agua con concentraciones por encima de los límites aceptables para consumo humano.

Agradecimientos

Los autores agradecen a las autoridades y personal de la Cooperativa de Obras y Servicios de San Clemente del Tuyú (COS), Cooperativa Cosyc Las Toninas y Cooperativa de Obras y Servicios Públicos de Santa Teresita, por la colaboración brindada durante las tareas de campo y el desarrollo del estudio. Este trabajo fue financiado por el Proyecto de Investigación CONICET (PIP 2310) y Proyecto de Investigación y Desarrollo (11/N967) de la UNLP.

y el análisis de datos fueron realizados por Silvina Carretero, Leandro Rodríguez Capítulo, Daiana Dell' Arciprete y Eduardo Kruse. El primer borrador del manuscrito fue escrito por Silvina Carretero y todos los autores comentaron las versiones anteriores del manuscrito. Todos los autores leyeron y aprobaron el manuscrito final.

Contribución de autoría

Todos los autores contribuyeron a la concepción y el diseño del estudio. La preparación del material, la recopilación

Declaración de conflictos de intereses

“Los autores declaran que no existe algún conflicto de interés”

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- Carretero, S. y Kruse, E. (2012). Relationship between precipitation and water-table fluctuation in a coastal dune aquifer: northeastern coast of the Buenos Aires province, Argentina. *Hydrogeology Journal* (20): 1613–1621.
- 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. (Ed.), *Calidad del agua subterránea*. (pp 93-100). Editorial Científica Universitaria.
- Carretero, S., Perdomo, S. y Kruse, E. (2017). Efectos del bombeo sobre la calidad química del acuífero costero en el sector norte del Partido de La Costa. *XX Congreso Geológico Argentino, Sesión técnica 11, Geología de los Recursos Hídricos*: 9-18.
- Carretero, S., García Galluzzi, A. y Kruse, E. (2022a). 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). <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103692>.
- Carretero, S., Rodríguez Capítulo, L., Dapeña, C., Fabiano, M. y Kruse, E. (2022b). A chemical and isotopic approach to investigate groundwater dynamics in a coastal aquifer. *Catena* (213). <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106229>.
- Custodio, E. (2010). Coastal aquifers of Europe: an overview. *Hydrogeology Journal* (18), 269–280.
- Cheng, A. y Ouazar, D. (2004). *Coastal Aquifer Management: monitoring, modeling, and case studies*. Lewis publishers a CRC Press Company.
- Consejo Federal de Inversiones (1989). *Evaluación del Recurso Hídrico Subterráneo de la Región Costera Atlántica de la Provincia de Buenos Aires Regiones I y II Punta Rasa-Punta Médanos. Provincia de Buenos Aires Informe Final. Tomo II. Geología y Geomorfología*. Consejo Federal de Inversiones.
- Forte Lay, J.A., Aiello, J.L. y Kuba, J. (1995). *AGROAGUA v.5.0*. [Software de PC]. AGROAGUA, CIBIOM, CONICET.
- Violante, R.A., Parker, G. y Cavallotto, J.L. (2001). Evolución de las llanuras costeras del este bonaerense entre la bahía Samborombón y la laguna Mar Chiquita durante el Holoceno. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 56(1), 51-66.