



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

TESIS DE DOCTOR EN GEOLOGÍA

“Hidrogeología de las dunas en el ambiente costero
suroccidental de la provincia de Buenos Aires,
Argentina”

ANDRÉS GABRIEL RUFFO

BAHÍA BLANCA

ARGENTINA

2022

PREFACIO

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Doctor en Geología, de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en la cátedra de Hidrogeología, dependiente del Departamento de Geología durante el período comprendido entre el 11 de julio de 2017 y el 03 de Mayo de 2022, bajo la dirección de los Dres. Edgardo René Albouy (Profesor Asociado del Dpto. de Geología de la UNS) y Jorge Carlos Carrica (Profesor Asociado del Dpto. de Geología de la UNS).



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
Secretaría De Posgrado Y Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el/...../..... mereciendo la calificación de (.....)

Ruffo A. G. "Hidrogeología de las dunas en el ambiente costero suroccidental de la provincia de Buenos Aires, Argentina."

"Para el que mira sin ver, la tierra es tierra nomás"

Atahualpa Yupanqui.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia y seres queridos, que siempre me dan su apoyo para encarar todos mis proyectos.

A mi director de tesis, René y a mi co-director Jorge, por confiar en mí y brindarme su paciencia y conocimientos.

Al grupo de trabajo del Laboratorio de Hidrogeología, Dani, Nere, Juan, Lucía y Mati por el día a día y su ayuda en las campañas de campo.

A la Universidad Nacional del Sur y en particular al Departamento de Geología, por ser mi segunda casa.

Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas por otorgarme la beca doctoral para realizar esta investigación.

Por último, pero no menos importante, a mi perro Astor compañero incondicional.

RESUMEN

La zonificación hidrogeológica de la provincia de Buenos Aires incluye la denominada Costa Atlántica Bonaerense, caracterizada por la presencia casi continua de una cadena de dunas o médanos que se extiende desde Punta Rasa al norte, hasta Punta Alta al sur. A pesar de que estos depósitos de arena son excelentes almacenes de agua subterránea, constituyendo la única fuente de aprovisionamiento en la mayoría de las localidades costeras, las investigaciones sobre este vital recurso estratégico son escasas.

El objetivo principal de esta tesis es reconocer los factores y procesos hidrogeológicos que condicionan y determinan la presencia y calidad del agua subterránea en los médanos costeros, en el sector comprendido entre las ciudades de Monte Hermoso y Punta Alta.

Se llevaron a cabo distintos trabajos de campo y gabinete, incluyendo análisis hidrometeorológicos, levantamiento de perfiles geológicos, descripción y correlación de perforaciones, censos de captaciones, estudios geofísicos, análisis hidroquímicos, caracterización de parámetros hidráulicos e hidrodinámicos, cálculos de recarga, recurso y reservas hídricas subterráneas, caracterización y tipificación de humedales e identificación de actividades potencialmente contaminantes, entre otros.

El acuífero libre limita al norte con la llanura pampeana y al sur con el mar argentino, configurando una interfaz agua dulce-salobre al norte y otra agua dulce-salada al sur. Los estudios geofísicos evidencian que el hidroapoyo del sistema no es plano, sino que posee leves ondulaciones.

Las arenas que conforman el acuífero suelen ser finas a medias, bien seleccionadas y compuestas principalmente por cuarzo y plagioclasas. Se constató mediante la utilización de tomografías de resistividad eléctrica la existencia de paleocauces y diversas variaciones litológicas. Mediante un ensayo de bombeo se obtuvo un coeficiente de almacenamiento de 0,21, mientras que la transmisividad se calculó en 217 m²/día y la conductividad hidráulica en 21 m/día.

La superficie piezométrica copia de manera suave el relieve topográfico. La profundidad al nivel freático no suele superar los 6 m, registrándose una oscilación máxima de 46 cm, vinculada a variaciones estacionales.

En general el acuífero presenta aguas de baja salinidad, con una conductividad eléctrica promedio de 800 μ S/cm. El patrón químico dominante corresponde a aguas bicarbonatadas sódicas y bicarbonatadas cálcicas/magnésicas.

El ingreso de agua al acuífero depende de los excesos hídricos de las precipitaciones. El valor medio de recarga obtenido fue del 32% de la precipitación

media anual (732 mm/año). El recurso hídrico potencial se calculó en 93,60 Hm³ / año, mientras que las reservas ascienden a 2.500 Hm³.

Las actividades potencialmente contaminantes se concentran en el balneario Pehuen-Có, destacándose la falta de red cloacal y la presencia de un basural a cielo abierto. La vulnerabilidad y el peligro de contaminación del acuífero clasifican como alto.

Se destaca la presencia de un acuífero con importantes volúmenes de agua dulce, apta para todo uso, en una zona de clima árido a semiárido. Se pretende que la información generada en esta tesis sea de utilidad para la sociedad y los tomadores de decisiones, en pos de utilizar y conservar de manera sustentable y sostenible el importante recurso hídrico aquí expuesto.

ABSTRACT

The hydrogeological zoning of the province of Buenos Aires includes the so-called Atlantic Coast of Buenos Aires, characterized by the almost continuous presence of a chain of sand dunes that extends from Punta Rasa in the north to Punta Alta in the south. Regardless of the fact that these sand deposits are excellent stores of groundwater, constituting the only source of supply in most of the coastal localities, research on this vital strategic resource is scarce.

The main objective of this thesis is to recognize the hydrogeological factors and processes that condition and determine the presence and quality of groundwater in the coastal sand dunes, in the sector between the cities of Monte Hermoso and Punta Alta.

Different field and lab works were carried out, including hydrometeorological analysis, geological profiling, description and correlation of drillings, census of water wells, geophysical studies, hydrochemical analysis, characterization of hydraulic and hydrodynamic parameters, recharge calculations, groundwater resources and reserves, characterization and classification of wetlands and identification of potentially contaminating activities, among others.

The free aquifer is bounded to the north by the Pampean plains and to the south by the Argentinean Sea, forming a freshwater-brackish water interface to the north and a freshwater-saltwater interface to the south. Geophysical studies show that the hydro-support of the system is not flat, but has slight undulations.

The sands that make up the aquifer are generally fine to medium, well-sorted and composed mainly of quartz and plagioclase. The existence of paleochannels and several lithological variations was confirmed by means of electrical resistivity tomography. By means of pumping tests, a storage coefficient of 0.21 was obtained,

while transmissivity was calculated at 217 m²/day and hydraulic conductivity at 21 m/day.

The piezometric surface smoothly copies the topographic relief. The depth to the water table does not usually exceed 6 m, with a maximum oscillation of 46 cm, linked to seasonal variations.

In general, the aquifer has low salinity waters, with an average electrical conductivity of 800 µS/cm. The dominant chemical pattern corresponds to sodium bicarbonate and calcium/magnesium bicarbonate waters.

Water inflow to the aquifer depends on excess rainfall. The average recharge value obtained was 32% of the mean annual precipitation (732 mm/year). The potential water resource was calculated at 93.60 Hm³ /year, while the reserves amount to 2,500 Hm³.

Potentially polluting activities are concentrated in the Pehuen-Có resort, especially the lack of a sewage system and the presence of an open dump. The vulnerability and danger of aquifer contamination are classified as high.

The presence of an aquifer with important volumes of fresh water, suitable for all uses, in an arid to semi-arid climate zone is highlighted. It is intended that the information generated in this thesis will be useful for society and decision makers, in order to use and preserve the important water resource presented here in a sustainable way.

INDICE

1- INTRODUCCIÓN	- 1 -
1.1 Motivación del estudio.....	- 1 -
1.2 Objetivos e hipótesis	- 2 -
1.3 Área de estudio	- 4 -
1.4 Referencias bibliográficas	- 5 -
<u>2-MATERIALES Y MÉTODOS</u>	<u>- 7 -</u>
2.1 Introducción	- 7 -
2.2 Recopilación bibliográfica	- 7 -
2.3 Cartografía e imágenes satelitales	- 7 -
2.4 Análisis de variables meteorológicas	- 9 -
2.5 Campañas de campo y tareas de gabinete	- 10 -
2.5.1 Geomorfología y geología	- 11 -
2.5.2 Censos de nivel freático y toma de muestras de agua subterránea	- 12 -
2.5.3 Fluctuaciones del nivel freático.....	- 13 -
2.5.4 Geofísica	- 14 -
2.5.5 Perforación exploratoria y ensayo de bombeo.....	- 18 -
2.6 Análisis químicos	- 20 -
2.7 Balances hídricos y cálculos de recarga	- 23 -
2.8 Tipificación Humedales	- 23 -
2.9 Vulnerabilidad y contaminación.....	- 24 -
2.10 Referencias bibliográficas	- 25 -
<u>3-CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL ÁREA.....</u>	<u>- 28 -</u>
3.1 Geomorfología	- 28 -
3.2 Topografía	- 34 -
3.3 Clima.....	- 35 -
3.4 Suelos	- 36 -
3.5 Flora del sector costero bonaerense austral.....	- 36 -
3.6 Referencias bibliográficas	- 40 -
<u>4-HIDROMETEOROLOGÍA.....</u>	<u>- 43 -</u>
4.1 Introducción	- 43 -
4.2 Pluviometría	- 43 -

4.3 Temperatura.....	- 52 -
4.4 Vientos	- 53 -
4.5 Evapotranspiración.....	- 54 -
4.5.1 Cálculo de la ETP	- 54 -
4.5.2 Cálculo de la ETR	- 59 -
4.6 Referencias bibliográficas	- 61 -
5-GEOLOGÍA	- 64 -
5.1 Geología Regional.....	- 64 -
5.1.1 Estratigrafía	- 65 -
5.2 Neógeno del área de estudio y las edades mamífero.....	- 67 -
5.2.1 Descripción de las unidades aflorantes en el sector acantilado	- 68 -
5.2.2 Descripción de las unidades aflorantes en el sector de playa entre Pehuen-Có y Monte Hermoso	- 71 -
5.2.3 Análisis del registro litológico o cutting de perforaciones	- 76 -
5.2.4 Evolución paleoambiental del sector e historia geológica neógena.....	- 87 -
5.3 Referencias bibliográficas	- 89 -
6-HIDROGEOLOGÍA	- 95 -
6.1 Características hidrogeológicas del sudoeste bonaerense	- 95 -
6.2 Cuenca de Bahía Blanca	- 99 -
6.2.1. Sección Hipoparaniana.....	- 99 -
6.2.2 Sección Paraniana	- 101 -
6.2.3 Sección Epiparaniana	- 101 -
6.3 Región Costera	- 103 -
6.3.1 Hidrogeología del cordón costero medanoso. Antecedentes.....	- 104 -
6.3.2 Límites, respuesta eléctrica y geometría del cuerpo acuífero	- 105 -
6.4 Referencias bibliográficas	- 122 -
7-HIDRÁULICA SUBTERRÁNEA	- 126 -
7.1 Introducción	- 126 -
7.2 Cálculos de parámetros hidráulicos	- 126 -
7.2.1 Determinaciones en laboratorio	- 126 -
7.2.2 Determinaciones en campo	- 128 -
7.3 Referencias bibliográficas	- 135 -
8-HIDRODINÁMICA	- 138 -
8.1 Introducción	- 138 -

8.2 Morfología de la superficie freática	- 141 -
8.3. Velocidades del flujo subterráneo	- 147 -
8.4 Relación entre la morfología freática y la topográfica	- 148 -
8.5 Fluctuaciones del nivel freático.....	- 151 -
8.6 Referencias bibliográficas	- 152 -
9-HIDROQUÍMICA.....	- 154 -
9.1 Introducción	- 154 -
9.2 Caracterización química del agua de lluvia	- 156 -
9.3 Hidroquímica del agua subterránea en el sector medanoso	- 160 -
9.3.1 Análisis de los componentes mayoritarios y minoritarios	- 163 -
9.3.2 Clasificación geoquímica de las aguas.....	- 170 -
9.3.3 Calidad del agua	- 173 -
9.4 Referencias bibliográficas	- 178 -
10-RESERVA, RECARGA Y RECURSO	- 180 -
10.1 Introducción	- 180 -
10.2 Reservas	- 180 -
10.3 Recarga.....	- 181 -
10.3.1 Balance de agua en el suelo	- 183 -
10.3.2 Balance del ion cloruro.....	- 184 -
10.3.3 Conclusiones sobre los valores de recarga	- 186 -
10.4 Recurso.....	- 186 -
10.4.1 Recurso hídrico potencial.....	- 186 -
10.5 Demanda antrópica de agua	- 187 -
10.6 Referencias bibliográficas	- 187 -
11-HUMEDALES EN EL AMBIENTE MEDANOSO	- 190 -
11.1 Introducción	- 190 -
11.2 Tipificación y clasificación hidrológica de los humedales	- 191 -
11.2.1 Laguna Sauce Grande.....	- 191 -
11.2.2 Humedales de interduna.....	- 192 -
11.2.3 Laguna Unamuno	- 193 -
11.3 Discusión	- 195 -
11.4 Referencias bibliográficas	- 196 -
12-VULNERABILIDAD Y PELIGRO DE CONTAMINACIÓN.....	- 199 -
12.1 Introducción	- 199 -

12.2 Evaluación de la vulnerabilidad.....	- 200 -
12.2.1 Metodología GOD	- 200 -
12.2.2 Metodología DRASTIC	- 203 -
12.3 Inventario de las actividades potencialmente contaminantes y caracterización del índice de carga contaminante (ICC) para el sector de Pehuen-Có.....	- 206 -
12.4 Peligro de contaminación.....	- 213 -
12.5 Referencias bibliográficas	- 213 -
13 -MODELOS CONCEPTUALES Y BALANCE HÍDRICO.....	- 216 -
13.1 Introducción	- 216 -
13.2 Modelo de funcionamiento y balance hídrico	- 218 -
14 -CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	- 221 -
14.1 Conclusiones.....	- 221 -
14.2 Recomendaciones	- 226 -
ANEXOS	- 228 -

LISTADO DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1.3.1: Ubicación del área de estudio

CAPÍTULO 2

Figura 2.3.1: Base cartográfica del IGM para el área de estudio. Arriba se observa el mosaico de imágenes realizado a partir del solapamiento de las cartas individuales.

Figura 2.7.1.1: Tamizadora Fritsch.

Figura 2.5.3.1: Ubicación e instalación del transductor de presión en la localidad de Pehuen-Có.

Figura 2.5.4.1: Diagrama de resistividades para distintos materiales.

Figura 2.5.4.2: Modelo de funcionamiento de una tomografía eléctrica.

Figura 2.5.4.3: Resistivímetro ARES.

Figura 2.5.4.4: Imagen de resistividad eléctrica procesada con Res2Inv.

Figura 2.5.5.1: Operaciones de perforación, a) equipo de perforación; b) trépano tricono; c) lodo espesado con gelificantes; d) toma de muestras litológicas; e) muestras de sedimentos de la perforación; f) filtro de PVC ranurado; g) grava tipo Paraná.

Figura 2.6.1: Clasificación de aguas para riego según Wilcox (1955)

CAPÍTULO 3

Figura 3.1.1: Dunas activas, semi fijas y fijas por vegetación.

Figura 3.1.2: Sector costero de la Base Baterías. Pueden observarse distintas configuraciones de playa y geoformas

Figura 3.1.3: Distintas configuraciones de costas del sector estudiado. A) Costa acrecional con acumulación de arena y geoformas relacionadas. B) Sectores de marisma fangosa próximas a la ciudad de Punta Alta.

Figura 3.1.4: Mapa geomorfológico del área de estudio.

Figura 3.2.1: Mapa topográfico junto con la imagen satelital de referencia.

Figura 3.5.1: Provincias fitogeográficas de Argentina según Cabrera (1976).

Figura 3.5.2: Neosparton ephedroides.

Figura 3.5.3: Vegetación exótica en Pehuen-Có.

CAPÍTULO 4

Figura 4.2.1: Mapa de isohietas del sudoeste bonaerense (Campo de Ferreas *et al.*, 2004).

Figura 4.2.2: Análisis de doble masa entre las estaciones meteorológicas utilizadas. En rojo se observa la línea de tendencia.

Figura 4.2.3: Mapa de isohietas del área de estudio, período 1982-2013.

Figura 4.2.4: Análisis de las medias móviles quinquenales de precipitación. A) Análisis de la serie Bahía Blanca. B) Análisis de la serie Ea. El Palomar.

Figura 4.2.5: Precipitación anual para la Estancia El Palomar, serie 1982-2017.

Figura 4.2.6: Anomalías de precipitaciones anuales en mm (1982-2017).

Figura 4.2.7: Histograma de frecuencia pluviométrica, Ea. El Palomar para la serie 1982-2017.

Figura 4.2.8: Promedios mensuales para la precipitación en la Estancia El Palomar, serie 1985-2017.

Figura. 4.2.9: Diagrama de barras. Valores mensuales máximos, medios y mínimos. Estancia El Palomar, serie 1985-2017.

Figura 4.2.10: Medias mensuales para Tres Arroyos, Ea. El Palomar y Bahía Blanca.

Figura 4.3.1: Temperatura media mensual en °C.

Figura: 4.5.1.1: Mapa de ETP para la República Argentina. El recuadro rojo indica en área de estudio. Modificado de Serio *et al.*, (2019).

CAPÍTULO 5

Figura 5.1.1: Cuenca del Colorado.

Figura 5.2.1: Sector costero acantilado en la Base Baterías.

Figura 5.2.1.1: Acantilado en el sector costero. En la base se observa la Fm. Monte Hermoso suprayacida por la Fm. Puerto Belgrano y dunas vegetadas.

Figura 5.2.2.1: Niveles conglomerádicos aflorantes en el sector de Playa del Barco. A) Rodados de cuarzo junto con rodados líticos. B) Vista general del sector de playa con afloramientos de conglomerados.

Figura 5.2.2.2: Frentes de avance de los cordones medanosos. En el sector de llanura se observan relictos de antiguos médanos.

Figura 5.2.2.3: Detalle de las cuatro muestras de arena analizadas bajo lupa (izquierda) y su respectivo difractograma de rayos X. Las vistas de lupa son ilustrativas y no poseen escala.

Figura 5.2.3.1: Perforaciones analizadas geológicamente. A- Sector Base Baterías. B- Sector Pehuen-Có (El cutting de los pozos SPAR 1 y 3 fue descripto para esta tesis). C- Sector Monte Hermoso.

Figura 5.2.3.2: Columna estratigráfica correspondiente al pozo Pehuen-Có 1.

Figura 5.2.3.3: Columna estratigráfica correspondiente al pozo Pehuen-Có 3.

Figura 5.2.3.4: Cuadro estratigráfico del sector costero. Los cuadros de color marrón indican la edad de las formaciones.

Figura 5.2.3.5: Perfil geológico simplificado de oeste a este del área de estudio.

Figura 5.2.4.1: Variaciones del nivel del mar durante el Pleistoceno-Holoceno. Modificado de Melo *et al.*, 2003.

CAPÍTULO 6

Figura 6.1.1: Regiones hidrogeológicas de la provincia de Buenos Aires. Modificado de González 2005.

Figura 6.3.2.1.1: Bloque geológico simplificado del área. No se incluye el sector de playa.

Figura 6.3.2.1.2: Límites del área de estudio. El polígono turquesa indica la superficie total.

Figura 6.3.2.2.1: Sondeos eléctricos verticales realizados por S.A.S.B.A (1976) en Monte Hermoso.

Figura 6.3.2.2.2: Corte geoeléctrico y geológico del sector de Monte Hermoso.

Figura 6.3.2.2.3: Ubicación e imagen de resistividad eléctrica correspondiente a la TRE efectuada en la planta de bombeo (cota de la TRE 14 m, arreglo Schlumberger).

Figura 6.3.2.2.4: Ubicación de los SEV realizados por el INA durante el año 2008.

Figura 6.3.2.2.5: Corte nº 1, geoeléctrico y geológico de la base Baterías.

Figura 6.3.2.2.6: Ubicación de los SEV realizados por el INA durante el año 2010.

Figura 6.3.2.2.7: Perfil geoeléctrico y geológico del área Baterías Pehuen-Có.

Figura 6.3.2.2.8: Ubicación de la TRE e interpretación de la imagen de resistividad eléctrica.

Figura 6.3.2.2.9: Sedimentos del sector de Punta Alta. A) Arenas arcillosas correspondientes a 2,5 m debajo del nivel del terreno. B) Arenas arcillosas con agua, obsérvese la coloración blanquecina del agua al concentrar la fase fina del sedimento. C) Reacción al HCL (10%).

Figura 6.3.2.2.10: Ubicación de la TRE (Wenner) en el ingreso a Pehuen-Có e interpretación de la imagen de resistividad eléctrica.

Figura 6.3.2.2.11: Ubicación e interpretación de la TRE realizada en Calle Trolon, Pehuen-Có.

Figura 6.3.2.2.12: Ubicación de la TRE e imagen de resistividad eléctrica.

Figura 6.3.2.2.13: Ubicación de la TRE Pehuen-Có - Pueblo Darwin e imagen de resistividad eléctrica.

CAPÍTULO 7

Figura 7.2.1: Curvas granulométricas de la Base Baterías y Partido de Monte Hermoso.

Figura 7.2.2.1: Perfil geológico y especificaciones constructivas de la perforación ensayada.

Figura 7.2.2.2: Planilla de descensos del ensayo de bombeo.

Figura 7.2.2.3: Curva de campo obtenida en el ensayo.

Figura 7.2.2.4: Ajuste del primer tramo de la curva de campo con la curva patrón.

Figura 7.2.2.5: Ajuste del tercer tramo de la curva de campo con la curva patrón.

CAPÍTULO 8

Figura 8.1.1: Captación de agua subterránea a través de un molino en el área de médanos.

Figura 8.1.2: Flujo local condicionado por la topografía y sectores de inter duna con ojos de agua.

Figura 8.1.3: Mapa isofreático de la región Bahía Blanca. Modificado de CFI 1993.

Figura 8.1.4: Diagrama de flujo local, intermedio y regional.

Figura 8.2.1: Histograma de frecuencia correspondiente a las medidas de la profundidad del nivel freático. La clase indica el intervalo en metros bajo boca de pozo en la cual se obtuvo la medida.

Figura 8.2.2: Mapa isopáquico de la zona no saturada del sector medanoso.

Figura 8.2.3: Mapa de isopiezas

Figura 8.2.4: Sectores del acuífero freático diferenciados por su hidrodinámica.

Figura 8.2.5: Lagunas freáticas en el sector de Base Baterías.

Figura 8.2.6: Imagen NDWI contrastada con el mapa de flujo subterráneo.

Figura 8.2.7: Perfil hidrodinámico representativo del sector S1, Baterías.

Figura 8.2.8: Perfil hidrodinámico representativo del sector S2, Punta Tejada – Pehuen-Có.

Figura 8.2.9: Perfil hidrodinámico representativo del sector S3, Monte Hermoso.

Figura 8.4.1: Mapa topográfico e isofreático del sector estudiado.

Figura 8.4.2: Sector medanoso de poca pendiente correspondiente a la Base Baterías.

Figura 8.5.1: Promedios mensuales del nivel freático (m) para el sector del vivero de Pehuen-Có.

Figura 8.5.2: Freatigrama a paso diario vs precipitaciones para el sector de Pehuen-Có (08/2019-09/2021).

CAPÍTULO 9

Figura 9.1.1: Halos salinos en humedales de interduna. A). Período seco con acumulación de sales en las costas. B) Período húmedo con aumento de nivel y disolución de sales.

Figura 9.2.1: Diagrama Piper Hill del agua de lluvia para el cordón costero. Solo fueron ploteadas las muestras que poseen el total de los iones mayoritarios analizados (15/20).

Figura 9.2.2: Comparativa química de iones mayoritarios en el agua de lluvia.

Figura 9.3.1: Mapa de conductividad eléctrica del acuífero libre.

Figura 9.3.1.1: Concentraciones de las especies carbonatadas vs el valor de pH de las aguas.

Figura 9.3.1.2: Relación entre los tenores de Cl^- y la conductividad eléctrica en el agua del acuífero freático.

Figura 9.3.1.3: Distribución del ión cloruro en la zona de estudio.

Figura 9.3.1.4: Valores de concentración de NO_3^- medidas en el acuífero freático.

Figura 9.3.1.5: Gráfico Cl^- vs Na^+ (meq/L).

Figura 9.3.1.6: Ubicación del molino ESI 6 rodeado de lagunas freáticas.

Figura 9.3.1.7: Muestras ploteadas según el diagrama de Schöeller-Berkaloff.

Figura 9.3.2.1: Ploteo de las muestras del cordón costero sobre diagramas triangulares de Piper Hill.

Figura 9.3.2.2: Mapa de diagramas de Stiff modificado

Figura 9.3.3.3.1: Ploteo de las muestras del acuífero freático en el diagrama de Wilcox.

CAPÍTULO 10

Figura 10.2.1: Subdivisión de áreas para el cálculos de reservas hídricas subterráneas.

CAPÍTULO 11

Figura 11.1.1: Esquema simplificado de clasificación de humedales (modificado de CMAJA,2002 en Manzano *et al.*, 2002).

Figura 11.2.1.1: A) Modelo de hidrogeológico de la Laguna Sauce Grande. B) Variaciones areales de la laguna. C) Tipificación hidrológica.

Figura 11.2.2.1: A) Modelo de funcionamiento de los humedales en el ambiente de dunas y tipificación. B) Humedal de inter-duna permanente y fluctuante. C) Humedal de inter-duna temporal y estacionario.

Figura 11.2.3.1: A) Modelo de funcionamiento hidrogeológico de la Laguna Unamuno. B) Variación en la superficie de la laguna. C) Tipificación hidrológica.

CAPÍTULO 12

Figura 12.2.1.1: Cuadro de la metodología GOD, extraído de Foster *et al.*, (2002).

Figura 12.2.1.2: Mapa de espesor de la zona no saturada.

Figura 12.2.1.3: Mapa de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero freático (GOD).

Figura 12.2.2.1: Rangos y valores normales para los índices (Aller *et al.*, 1987, en Martínez *et al.*, 1998).

Figura 12.3.1: Caracterización de la carga contaminante según sus características fundamentales (Foster *et al.*, 2002).

Figura 12.3.2: Identificación de actividades potencialmente contaminantes.

Figura 12.3.3: Caracterización de las cargas contaminantes inventariadas.

Figura 12.4.1: Interacción entre la vulnerabilidad intrínseca del acuífero y la clasificación de la carga contaminante de las distintas actividades inventariadas para el sector de Pehuen-Có.

CAPÍTULO 13

Figura 13.1.1: Bloque diagrama del sistema analizado, junto con los ingresos y egresos de agua considerados.

Figura 13.2.1: Afloramientos del nivel freático en los sectores de interduna (manchas oscuras en la imagen) para un periodo extremadamente húmedo comprendido entre los años 2002-2003.

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación del estudio

El aumento de la población mundial genera una presión cada vez más desafiante sobre los recursos naturales. Este incremento se da acompañado de una ocupación territorial desigual, ya que la mayor parte de los seres humanos se concentran en centros urbanos (UN-DESA, 2013). Los sectores costeros han sido sitios ocupados desde tiempos inmemoriales por su riqueza natural y la facilidad que proveen para el desarrollo de centros industriales y comerciales. Durante el período 1945-2014 el número de ciudades costeras con más de 100.000 habitantes han aumentado un 450% a nivel mundial, mientras que en Latinoamérica y el Caribe el aumento es de 1000% para el mismo período (Barragán y De Andrés, 2016). De estos datos se desprende que más del 40% de la población mundial se encuentra asentada en sectores costeros, los cuales representan el 15 % del territorio del planeta (De Andrés y Barragán, 2016). Esta concentración humana sobre las costas y su consumo de recursos comprometen el delicado equilibrio de los ecosistemas costeros.

El 97,5% del agua en el mundo es salada y solo el 2,5% es agua dulce; de ese 2,5 % el 70% se encuentra en los casquetes polares, casi el 30% corresponde a agua subterránea y menos del 1% a lagos, ríos y embalses (Custodio y Llamas, 1983). En este sentido, se estima que para el año 2030 la población mundial enfrentará un déficit hídrico del 40% (UNESCO, 2015). La falta de acceso al agua potable es considerada una de las principales causas de enfermedades en el país y el mundo (Peranovich, 2019) y su disponibilidad se relaciona íntimamente con la calidad de vida de la población (UNESCO, 2019).

En nuestro país el recurso hídrico superficial se encuentra, en cantidades significativas, mayormente en dos regiones conocidas como la Mesopotamia y la Cordillera Patagónica. El resto del país, aproximadamente un 75%, se encuentra bajo un clima árido a semiárido donde el agua superficial no abunda, y donde el recurso hídrico subterráneo juega un rol fundamental para el desarrollo y la vida (Auge, 2007).

En la costa de la provincia de Buenos Aires el agua subterránea es, en la mayoría de los casos, la única fuente de agua dulce para abastecimiento humano (Kruse, 2015). Los acuíferos costeros de la provincia resultan sistemas que poseen un equilibrio sumamente frágil. A las problemáticas convencionales de contaminación antrópica por aguas residuales, vertederos de basura y demás consecuencias del uso del suelo, debe sumarse la posibilidad de salinización del sistema por intrusión marina. Un claro ejemplo de esto ocurrió en la ciudad de Mar del Plata, la cual tuvo que redefinir la ubicación de su planta de bombeo debido a una explotación no controlada que culminó con la salinización y consecuente pérdida de varias captaciones (Bocanegra y Custodio, 1994; Bocanegra, 1997).

El sudoeste de la provincia de Buenos Aires, de clima árido a semiárido, posee en su cadena de dunas costeras un acuífero libre, el cual aloja una gran cantidad de agua dulce apta para el consumo humano. La falta de estudios en profundidad sobre este acuífero lo expone a un mal manejo, con posibles consecuencias adversas. Es así que esta investigación pretende dar luz sobre las características principales del recurso, informando a la comunidad sobre el valor hídrico que posee, en pos de su cuidado y brindando, a los tomadores de decisiones, algunos conocimientos necesarios para una eficaz gestión del recurso hídrico en las dunas del ambiente costero del sudoeste de la provincia de Buenos Aires.

1.2 Objetivos e hipótesis

El objetivo de esta investigación es reconocer los factores y procesos hidrogeológicos que condicionan y determinan la presencia del agua subterránea en los médanos y dunas costeras del sudoeste de la provincia de Buenos Aires. El conocimiento de la magnitud (extensión y espesor) de estos cordones medanosos y la definición del modelo hidrológico conceptual de funcionamiento del acuífero libre que alojan, son las bases para plantear una explotación racional y sustentable, en términos de cantidad y calidad. El área de estudio corresponde a la cadena de dunas ubicadas entre la localidad de Monte Hermoso y la ciudad de Punta Alta. Dentro de la misma está asentado el balneario Pehuen-Có y la Base de Infantería de Marina Baterías.

El Plan de Trabajos contempla como objetivos específicos:

- Definir la geometría y la hidrolitología de los cordones de dunas costero y del acuífero que alojan.

Hipótesis: se postula que las dunas y médanos costeros constituyen un reservorio natural de agua subterránea dulce, cuya magnitud está condicionada por la recarga

generado por los excesos hídricos del balance hídrico, el desarrollo espacial y el espesor sedimentario. Las características hidrolíticas, hidroestratigráficas e hidráulicas de los materiales, predominantemente arenosos, tanto aflorantes como aquellos más profundos y su potencia, condicionan la posibilidad para recibir, alojar y transmitir el agua.

Este análisis permitirá identificar la intercalación en la columna sedimentaria de niveles hidrolíticos acuitados o acucludos, definir el comportamiento hidráulico del sistema acuífero e identificar su hidroapoyo.

- Estimar el ingreso de agua al acuífero por agua de lluvia (recarga), caracterizar y cuantificar recursos y reservas hídricas subterráneas.

Hipótesis: el proceso de recarga se ajusta a los excesos de agua meteórica en el balance hídrico y por ende a la variabilidad climática (precipitación). Los ciclos pluviométricamente húmedos y secos tienen un alto impacto como reguladores de los recursos y reservas de agua en los médanos en virtud de sus características intrínsecas en cuanto al modo de almacenar y transmitir agua y su limitado desarrollo espacial costero.

- Determinar las características hidrodinámicas del flujo local en los médanos y la hidroquímica subterránea

Hipótesis: el sistema de flujo local está caracterizado por una recarga rápida, una corta circulación subterránea y su descarga puede darse en dirección al mar, la llanura o en sectores intermédanos (senos). La hidroquímica del agua subterránea condice con la hidrodinámica del sistema con presencia de agua de baja salinidad en las zonas de recarga principal y más salinas en las de descarga.

- Estudiar el estado actual del agua subterránea en los lugares con impacto de actividad antrópica.

Hipótesis: la actividad del hombre puede alterar el equilibrio natural recarga-descarga, modificar los sistemas de flujo, disminuir las reservas (variaciones en el almacenamiento) y afectar la calidad natural del agua (por vertidos antrópicos e inducción de intrusión marina).

- Reconocer los factores que determinan las posibilidades de aprovechamiento del agua en el ambiente medanoso costero.

Hipótesis: la variabilidad anual de la recarga, la explotación del recurso (extracción de agua), la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación y la ocupación del suelo con actividades antrópicas potencialmente contaminantes condicionan las posibilidades de abastecimiento de agua.

1.3 Área de estudio

El área de estudio comprende una superficie cubierta por dunas, ubicada en el sector sudoeste de la provincia de Buenos Aires. Queda delimitada al norte por la latitud $38^{\circ} 51' 46,71''$ S, al sur por $39^{\circ} 00' 17,11''$ S (mar Argentino), al oeste por la ruta provincial 249 y al este por el paralelo $61^{\circ} 19' 50,64''$ W. Su superficie alcanza los 440 Km², los cuales se encuentran dentro del partido Coronel de Marina Leandro Rosales, más conocido como Coronel Rosales y el municipio de Monte Hermoso (Figura 1.3.1). La misma se emplaza dentro de la cadena medanosa austral (Isla *et al.*, 1996), la cual se extiende desde la ciudad de Miramar hasta la ciudad de Punta Alta.

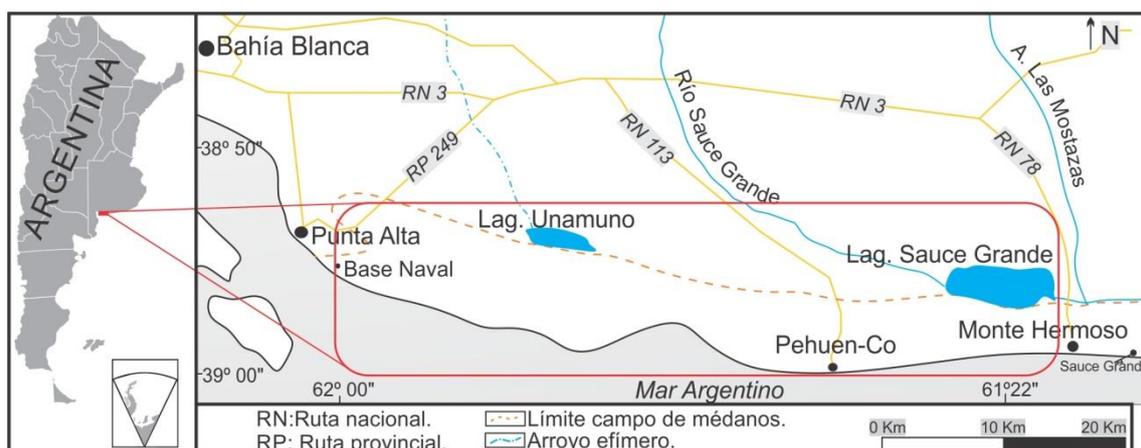


Figura 1.3.1: Ubicación del área de estudio

En el límite oeste del área se encuentra la ciudad de Punta Alta, cabecera del partido de Coronel Rosales. Las vías de acceso a la ciudad son la Ruta Nacional N°229 y la N° 249, las cuales conectan con la Ruta Nacional N° 3. Su población estable es de 58.315 habitantes (INDEC, 2010) encontrándose en sus costas Puerto Rosales, Base Naval Puerto Belgrano (BNPB), la base naval más importante del país y la Base de infantería de Marina Baterías (BIMB). Dentro de esta última y sobre el área de estudio se encuentra el centro espacial Manuel Belgrano perteneciente a la CONEA.

La BNPB posee un suministro de agua mixto, proporcionado tanto por pozos profundos que toman agua del sistema hidrotermal profundo (SHP) (Bonorino, 1988), como por abastecimiento externo por medio de Aguas Bonaerenses Sociedad Anónima (ABSA). La BIMB utiliza para consumo humano agua extraída de pozos

someros realizados en el acuífero freático medanoso y para servicios agua suministrada por dos perforaciones surgentes correspondientes al SHP.

En el sector central del área se ubica la villa balnearia de Pehuen-Có. El ingreso al balneario se realiza por la Ruta Provincial N°113/2, la cual conecta con la Ruta Nacional N° 3. Posee una población estable de 681 habitantes (INDEC, 2010), pudiendo superar los 10.000 habitantes durante la temporada estival (Revista Hábitat, 2014). El balneario carece tanto de red de suministro de agua potable como de red cloacal, lo cual genera graves inconvenientes en el abastecimiento de agua domiciliar que realizan los habitantes.

Sobre el límite este del área de estudio y fuera de la misma, se encuentra la ciudad de Monte Hermoso, cabecera del partido homónimo. Su vía de acceso es a través de la Ruta Provincial N°78, la cual conecta con la RN 3. Posee una población estable de 6351 habitantes (INDEC 2010) incrementándose esta cifra a más de 70.000 durante la temporada estival (Caruso *et al.*, 2010). Aproximadamente solo el 66% de las viviendas posee agua corriente y servicio de cloacas mientras que el 33% restante utiliza perforaciones para extracción de agua y pozos negros como colector cloacal (Di Martino, 2014). El abastecimiento de agua se realiza a partir de pozos realizados en el acuífero freático medanoso.

1.4 Referencias bibliográficas

- Auge, M. (2007). Agua fuente de vida. E-Book 1-27. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/05/Agua-fuente-de-vida.pdf>.
- Barragán J., M. y De Andrés, M. (2016). Expansión urbana en las áreas litorales de América Latina y Caribe. Revista de Geografía Norte Grande, no.64 Santiago set. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022016000200009>. ISSN 0718-3402
- Bonorino, G. (1988). Geohidrología del sistema hidrotermal profundo de la región de Bahía Blanca. Tesis doctoral. Biblioteca Central UNS. 289 p. Inédita.
- Bocanegra, E. M. y Custodio, E. (1994). Utilización de acuíferos costeros para abastecimiento. Dos casos de estudio: Mar del Plata (Provincia de Buenos Aires, Argentina) y Barcelona (Cataluña, España). Ingeniería del Agua. Vol. 1 N°. 4:49-78.
- Bocanegra, E. (1997). Salinización de acuíferos costeros por sobreexplotación. Resultados de la gestión en el acuífero de Mar del Plata, Argentina. En Agua:

- uso y manejo sustentable. Asociación de Universidades del Grupo Montevideo. 161-178. Edit. EUDEBA. Santa María, Brasil, I.S.B.N. 950-23-0646-5.
- Caruso, M.; Cifuentes, O.; Vaquero, M. (2010). "Impacto del Turismo sobre los Servicios de Agua Corriente y Desagües Domiciliarios. Estudio de caso: Monte Hermoso, Provincia de Buenos Aires". En 4 Congreso Latinoamericano de Investigación Turística. Eje Temático: Espacio Turístico y Medio Ambiente. Universidad de la República. Montevideo. Uruguay.
- Custodio y Llamas. (1983). Hidrología subterránea. Segunda edición, ediciones Omega S.A, Barcelona, España.
- De Andrés, M. y Barragán, J.M. (2016). Desarrollo Urbano en el Litoral a Escala Mundial. Método de Estudio para su Cuantificación. Revista de Estudios Andaluces, vol.33 (1), 64-83.
- Di Martino, C; Albouy, R; Cifuentes, O; Marcos, A. (2014). El acuífero libre costero de Monte Hermoso, Argentina. Generalidad. Recurso y reserva. Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. 33, 43-50.
- INDEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). (2010). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas, 25/10/2018, <https://www.indec.gob.ar>.
- Isla, F. I., Cortizo, L. C., SCHNACK, E. J. (1996). Pleistocene and Holocene beaches and estuaries along the Southern Barrier of Buenos Aires. Quaternary Science Reviews 15(8-9): 833-841
- Kruse, E. (2015). Uso del agua subterránea y desarrollo sustentable. Núcleos; Buenos Aires; p. 30- 36.
- Peranovich, A. (2019). Enfermedades transmitidas por el agua en Argentina y Brasil a principios del siglo XXI. Saude soc. vol.28 no.2 São Paulo Apr./June 2019.
- Revista Hábitat. (2014). Hábitat. Publicación anual de la Sociedad de Fomento "Amigos de Pehuen-Có. N°42. Diciembre 2014.
- UN-DESA. (2013). United Nations, Department of Economic and Social Affairs. Demographic Yearbook 2012. New York. 63, p. 241.
- UNESCO. (2015). Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo. www.unesco.org
- UNESCO. (2019). WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2019: No dejar a nadie atrás. París, UNESCO."

Capítulo 2

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Introducción

La realización de esta tesis doctoral ha requerido la búsqueda, generación, chequeo y análisis de gran cantidad de información, incluyendo trabajos de gabinete, campo y laboratorio. Para ello se utilizaron variados equipos y programas informáticos, sumado a la aplicación de distintas metodologías probadas y aceptadas por pares, con el objetivo de arribar a resultados contrastables y sustentados en el método científico. En este apartado se mencionan y describen los materiales y métodos utilizados a lo largo de esta investigación. A su vez, se hará mención de los mismos en los capítulos donde fueron utilizados, para poner en contexto al lector durante las sucesivas etapas de investigación aquí compiladas.

2.2 Recopilación bibliográfica

Como base fundamental para el inicio de la investigación fueron consultadas distintas fuentes de información, tanto en formato físico como digital. Estos trabajos antecedentes, que incluyen geología e hidrogeología regional, datos climáticos, geomorfología, etc. han sido citados y referenciados en el texto.

A su vez, la utilización de libros de texto específicos sobre hidrogeología, las publicaciones internacionales relacionadas a la temática global que implican los acuíferos costeros, la gestión del recurso hídrico y las relaciones entre el agua dulce y salada en zonas costeras, han sido tenidos en cuenta y debidamente referenciados.

2.3 Cartografía e imágenes satelitales

Para realizar una primera aproximación y reconocimiento regional del área de estudio se utilizó la cartografía confeccionada por el Instituto Geográfico Militar (IGM). Esta corresponde a las cartas topográficas Punta Alta (3963-17-4), Punta Tejada (3963-18-3), Balneario Pehuen-Có (3963-18-4 y 24-2) y Balneario Monte Hermoso (3960-13-3 y 19-1), realizadas en el año 1967 escala 1:50000 (Figura 2.3.1).

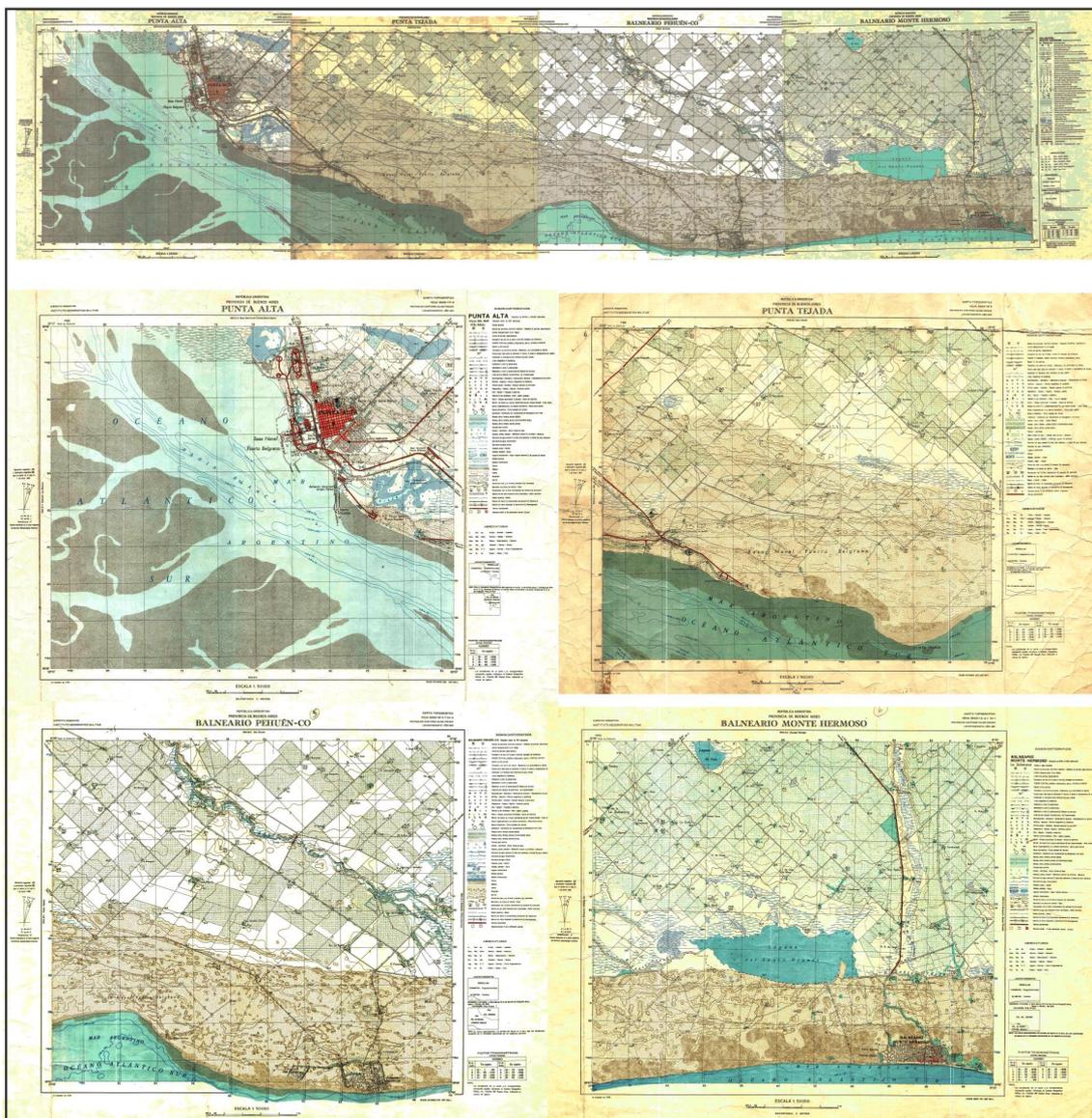


Figura 2.3.1: Base cartográfica del IGM para el área de estudio. Arriba se observa el mosaico de imágenes realizado a partir del solapamiento de las cartas individuales.

Como complemento de la cartografía existente, se procedió a generar una nueva base cartográfica utilizando datos actuales. Se tomaron más de 5.000 puntos con sus respectivas coordenadas mediante el software Google Earth, para luego obtener las alturas respectivas de la base de datos SRMT3 (Shuttle Radar Topography Mission) de la NASA. Se utilizó el sitio web www.gpsvisualizer.com que permite obtener las medidas altimétricas de cualquier punto de coordenadas consultando distintas bases de datos satelitales.

Estos fueron analizados con el software Surfer V13, mediante el cual se trazaron las curvas de nivel correspondientes. El nuevo mapa topográfico fue

contrastado con los puntos acotados en las cartas topográficas del IGM, comprobando la coincidencia de los mismos.

El análisis geomorfológico del área se basó en imágenes satelitales. Para observar la evolución en el tiempo del paisaje geomorfológico se utilizó el software Google Earth y SAS-Planet, sumado a imágenes satelitales Sentinel 2 y Landsat 7 y 8. Los resultados obtenidos fueron corroborados con observaciones de campo y bibliografía antecedente. Con esta información y mediante el procesador gráfico Corel-Draw se confeccionó un mapa geomorfológico del área, integrando todos los datos y subdividiendo el sector en 5 unidades principales.

Las imágenes satelitales de Sentinel 2 y Landsat 7 / 8, presentan información correspondiente a distintas bandas de longitud de onda infrarroja y una resolución por pixel entre 10 y 60 m. Por medio del software Q-GIS, es posible procesar la información analizando distintas bandas, en conjunto o separadas, generando así imágenes espectrales y multiespectrales que resalten alguna característica (o índices) de interés, como ser: contraste agua tierra, humedad del suelo y desarrollo o estado de la vegetación, entre otras (Soria y Matar de Saquis, 2016).

Estos productos o imágenes procesadas han sido de gran utilidad a la hora de mapear pequeños cuerpos de agua, definir porcentaje de cobertura vegetal y como apoyo para corroborar áreas de descarga del acuíferos freático.

2.4 Análisis de variables meteorológicas

La pluviometría del área consiste en 36 años de medidas de precipitación mensual desde al año 1982 hasta el 2017 inclusive, basada en datos brindados por la estancia (Ea) El Palomar, ubicada en el acceso del balneario Pehuen-Có (sector central del área de estudio). Sumado a esto se contó con datos de precipitaciones diarias de Pehuen-Có (2013-2021, suministradas por un residente) y del partido de Coronel Rosales, provistos por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), entre el año 2001 y 2018.

Se analizaron las precipitaciones regionales utilizando la serie del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para la ciudad de Bahía Blanca, que provee datos de precipitación diaria desde el año 1956 hasta el 2019 (64 años) y las brindadas por el INTA para las localidades de Tres Arroyos (1960-2013) e Hilario Ascasubi (1967-2015)

Para corroborar la consistencia de las distintas series pluviométricas se realizaron análisis estadísticos de doble masa, los cuales arrojaron resultados satisfactorios en todos los casos.

Las grandes variaciones cíclicas, húmedas y secas, se analizaron a partir de los módulos pluviométricos quinquenales de las estaciones Bahía Blanca y Ea. El Palomar.

En lo que a vientos y temperatura respecta, los datos regionales fueron obtenidos de las estaciones meteorológicas mencionadas anteriormente. El análisis de los mismos fue contrastado con información antecedente publicada para el área costera por diversos autores.

Para el análisis de la evapotranspiración potencial se utilizaron tanto fórmulas empíricas como medidas de evaporación física. Las primeras corresponden a las desarrolladas por Thornthwaite (1948), Hargreaves – Samani (1985) y una modificación de esta última realizada por Almorox *et al.* (2012) especialmente para la zona de Coronel Dorrego, ubicado a menos de 25 Km del área de estudio. Dicho autor logró una correlación del 99% en relación con los resultados obtenidos utilizando la metodología de Penman Monteith (en Allen *et al.* 1998), la cual no fue aplicada en este trabajo por falta de datos consistentes de velocidad del viento.

A su vez se contó con datos antecedentes de mediciones directas de evaporación física, realizadas en un tanque tipo "A" en la localidad de Argerich. Estas corresponden a 19 años de lecturas diarias con tornillo milimétrico, para el período 1946 a 1965 (CORFO – Río Colorado, 1966). Los valores mensuales fueron reducidos, aplicando un coeficiente de 0,7 con el fin de obtener la evaporación equivalente en un cuerpo de agua, para luego aplicar los coeficientes reductores (f) de Penman según el mes del año y obtener la ETP.

La evapotranspiración real, fue calculada mediante las metodologías de Turc (1954), Coutagne (1949) (en Custodio y Llamas, 1976) y balances de agua en el suelo a paso mensual, siguiendo los criterios planteados por Thornthwaite y Mather (1957).

2.5 Campañas de campo y tareas de gabinete

Las campañas de campo se desarrollaron entre los años 2017 y 2021 con distintos objetivos. Se realizaron con fines geológicos y geomorfológicos, hidrogeológicos, hidroquímicos y geofísicos, entre otros. Todos los puntos analizados

fueron ubicados mediante la utilización de equipos GPS marca Garmin, modelo Etrex Vista HCx y Etrex 30X.

A continuación se detallan los materiales y métodos utilizados en cada una de ellas, como así también las tareas realizadas en gabinete.

2.5.1 Geomorfología y geología

Los trabajos iniciales consistieron en reconocer las unidades geológicas del área y confirmar las observaciones geológicas / geomorfológicas obtenidas de las fuentes antecedentes.

Se llevó a cabo la descripción de perfiles estratigráficos de manera clásica, junto a la toma de muestras de sedimentos para su posterior descripción detallada y análisis en gabinete.

Sumado a lo anterior, se contó con recortes de perforaciones preexistentes del sector de Pehuen-Có, brindados por el Museo de Cs Naturales "Charles Darwin" de Punta Alta.

En gabinete, las muestras de sedimentos y recortes de perforación fueron analizadas utilizando una lupa binocular marca Arcano, modelo ST 30 con dos aumentos, 2x y 4x. Para su descripción las muestras se observaron en húmedo y se contrastaron con una cartilla de colores Munsell.

Con el objetivo de realizar curvas granulométricas y definir el tamaño de grano, las muestras de arena fueron tamizadas con una plataforma vibratoria marca Fritsch, utilizando los tamices 0; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5 y 4 en la escala ϕ (Figura 2.7.1.1).



Figura 2.7.1.1: Tamizadora Fritsch.

Con el fin de complementar las descripciones realizadas a lupa, se efectuaron análisis de difracción de rayos X sobre 4 muestras de arena, utilizando un difractómetro Rigaku D-Max III-C del Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur e interpretados con el software JADE 7.

2.5.2 Censos de nivel freático y toma de muestras de agua subterránea

Las campañas de censo de nivel freático se realizaron durante los años 2018 y 2019. Para las medidas de profundidad al nivel freático, como también las de fondo de pozo, se utilizó una sonda piezométrica marca OTT, de 50 m de longitud total y graduada al centímetro.

Con los datos obtenidos y mediante interpolaciones utilizando el software Surfer V13, se elaboraron mapas de isopiezas, redes de flujo y cortes en perfil del acuífero. Los gráficos crudos, obtenidos del programa, fueron modificados por el autor con criterio geológico / hidrogeológico según se creyó conveniente.

A partir de los datos obtenidos y en conjunto con los mapas hidrodinámicos se diferenciaron sectores con características de flujo subterráneo particulares y se calcularon gradientes hidráulicos y velocidades de flujo.

Se tomaron muestras de agua en molinos y captaciones con electro bombas sumergibles. Previo al muestreo, se dejó circular el agua de manera que el volumen liberado equivaliera a 3 veces el volumen almacenado en las cañerías. A su vez se aguardó la estabilización térmica del agua, asegurando que las muestras obtenidas provinieran del acuífero. Estas fueron almacenadas en botellas plásticas de 1 L de capacidad, previamente enjuagadas con el agua de la captación.

In situ se realizaron medidas de temperatura, pH y conductividad eléctrica del agua, utilizando un equipo multiparamétrico marca Lutron, modelo WA 2015 calibrado a tal fin.

2.5.3 Fluctuaciones del nivel freático

Con el fin de tener un registro continuo de las variaciones del nivel freático se instaló un "Data Logger" o transductor de presión marca ONSET HOBO modelo U-20L-01. El modo de uso de este equipo se basa en la instalación de dos sensores inalámbricos, uno de los cuales se coloca por debajo del nivel freático, dentro de la perforación, mientras que el otro se ubica suspendido en el aire. El rango de trabajo es de 0 a 9 m de variación de columna de agua y temperaturas entre -20 y 50 °C. La precisión de lectura es de 0,1% y cuenta con una batería interna de 5 años de duración promedio (dependiendo de la frecuencia de lectura seleccionada).

Estos equipos poseen la capacidad de medir la temperatura y variaciones de presión existentes en el medio en el que se encuentran ubicados. El intervalo de lectura queda determinado por el usuario, previamente a la instalación de los equipos en el campo.

La fluctuación del nivel freático se traduce como una variación de presión en la columna de agua que se encuentra sobre el sensor sumergido, la que es registrada y almacenada en una memoria interna del instrumento. El segundo sensor realiza similares medidas sobre la presión atmosférica.

Los datos registrados son descargados en una computadora utilizando una base o conector. Mediante la utilización del software HOBOWare Pro, que permite realizar el análisis de los datos y su gráfica, las medidas de presión correspondientes al sensor ubicado bajo el agua son compensadas con los datos del sensor expuesto al

aire. De esta manera, las lecturas de variación de nivel freático resultantes no son influenciadas por los cambios en la presión atmosférica.

El equipamiento fue instalado dentro de una perforación somera (11 m) en desuso dentro del vivero municipal de Pehuen-Có (Figura 2.5.3.1). Este sitio, ubicado en el denominado "Bosque encantado" se encuentra a 250 m lineales de las captaciones en funcionamiento más cercanas. El intervalo de lectura se estableció en 1 lectura cada 4 hs, generando un total de 572 lecturas entre el mes de Agosto del año 2019 y Marzo del año 2021.

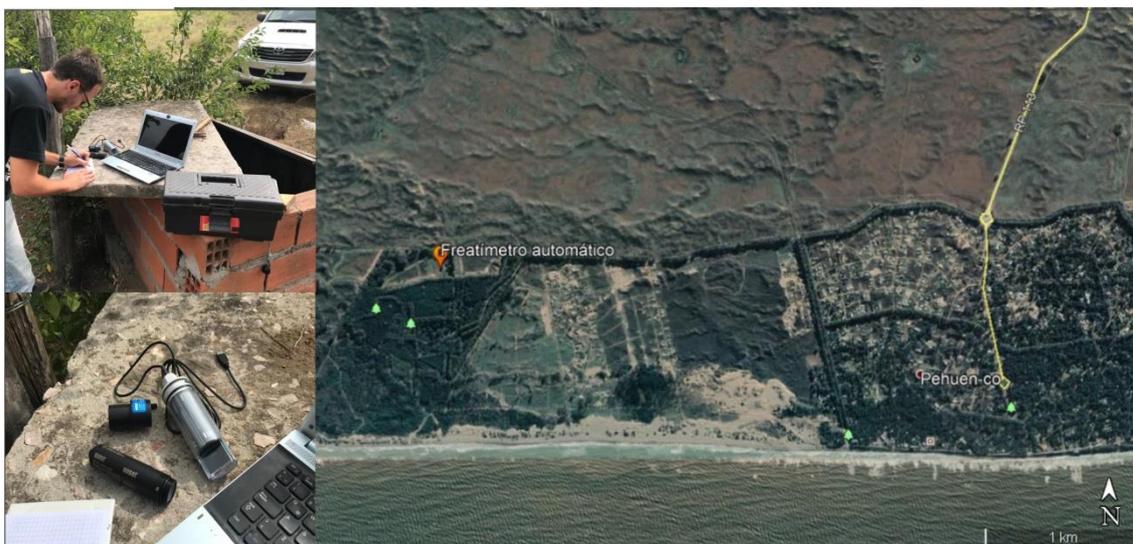


Figura 2.5.3.1: Ubicación e instalación del transductor de presión en la localidad de Pehuen-Có.

2.5.4 Geofísica

Las actividades de exploración geofísica se realizaron a partir de dos metodologías geoelectricas: los sondeos eléctricos verticales (SEV) y las tomografías de resistividad eléctrica (TRE).

Los métodos geoelectricos se basan en la propiedad que posee un terreno de conducir una corriente eléctrica o su inversa, la resistencia que oponen al paso de ella. Estos parámetros se encuentran relacionados con el tipo de material que compone el terreno y con el fluido alojado en él.

Su realización consiste en la inyección de una corriente eléctrica continua, de intensidad conocida (I), por medio de electrodos o estacas y la posterior lectura de la diferencia de potencial (ΔV) entre otros dos puntos del terreno. Utilizando dichas lecturas y la ley de Ohm es posible calcular la resistividad de los terrenos atravesados.

La ley de Ohm (1) establece que la resistencia (R) que posee un medio conductor al paso de una corriente, es directamente proporcional a la diferencia de potencial (ΔV) entre los extremos del material e inversamente proporcional a la intensidad del flujo de corriente (I)

$$R = \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

A su vez, la resistencia (R) es inversamente proporcional a la sección del material considerado (A) y directamente proporcional a su longitud (L), multiplicados estos parámetros por una constante de proporcionalidad denominada resistividad (ρ) según lo expresado en la siguiente ecuación (2):

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A} \quad (2)$$

Esta resistividad (ρ), o resistencia específica, es constante y propia de cada material. Su unidad es el ohm.metro ($\Omega.m$). De esta manera es posible caracterizar distintos materiales según su resistividad (Figura 2.5.4.1).

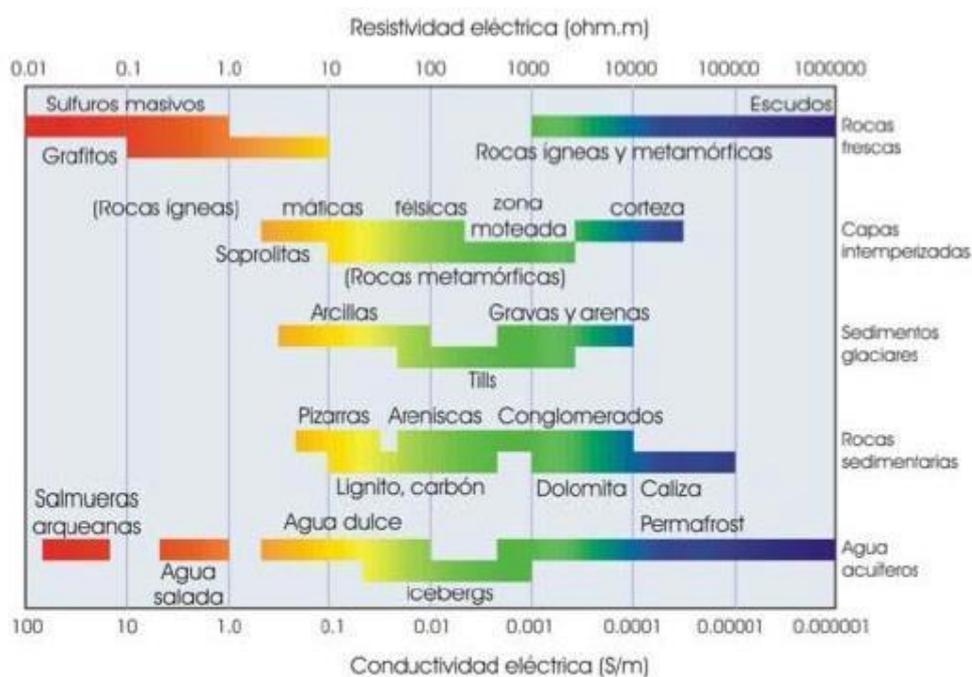


Figura 2.5.4.1: Diagrama de resistividades para distintos materiales (Velazco Mendoza, 2017).

En la práctica, el subsuelo no está compuesto de manera homogénea, por lo cual la resistividad medida en campo resultará en un valor "aparente" (ρ_a), el cual dependerá en parte de las resistividades de las distintas capas que componen el terreno y la distancia existente entre los electrodos del sistema. Esta distancia entre

electrodos, o arreglo del sistema, queda expresada por un coeficiente K denominado "constante geométrica".

Entonces, teniendo en cuenta lo anterior, la resistividad se calcula a partir de la siguiente ecuación (3):

$$\rho a = K \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (3)$$

Los SEV's consisten en registrar las variaciones de la resistividad aparente, desde la superficie hasta una profundidad determinada, condicionada por el distanciamiento entre los electrodos respecto al centro del arreglo (prospección 1D). Esta distancia es modificada por el operador de forma progresiva sobre una línea recta, a intervalos logarítmicos predefinidos. Los arreglos más comunes son el Schlumberger y el Wenner, ambos tetraelectródicos.

El conjunto de valores de resistividad aparente versus la distancia desde el centro del arreglo hasta el borde del mismo es volcado en un papel bilogarítmico generando una curva de campo. Estos datos pueden ser analizados a mano o mediante softwares como el IPI2Win (entre otros) que mediante la inversión de los datos y su comparación con modelos teóricos, presentan al usuario posibles resultados de resistividades aparentes.

La realización de varios SEV's en una zona de estudio permite correlacionarlos entre sí, generando de esa manera un corte geoelectrico del sector.

En lo que a sondeos eléctricos se refiere, se contó con datos de campo correspondientes a campañas geoelectricas realizadas por el servicio de aguas subterráneas de Buenos Aires (S.A.S.B.A) en el año 1976 para el sector de Monte Hermoso y del instituto Nacional del Agua, del sector de la base Baterías. Estos últimos son el resultado de las campañas geoelectricas realizadas durante los años 2009 y 2010 (INA 2011, Valdez 2016). Los datos de campo, obtenidos utilizando la configuración electrodica tipo Schlumberger, fueron reinterpretados mediante el software IPI2Win.

La tomografía de resistividad eléctrica, de la manera que se aplicó en esta tesis, es una metodología de prospección 2D. Esta se basa en el mismo principio de resistividades que los sondeos eléctricos verticales. La diferencia con los SEV's radica en la utilización de un mayor número de electrodos, dispuestos de manera fija en el terreno a distancias constantes. La elección del distanciamiento entre electrodos

dependerá del objetivo de la investigación. A mayor distanciamiento mayor profundidad de exploración pero menor resolución vertical y viceversa.

La totalidad de los electrodos son conectados a un equipo de medida, el cual a partir de secuencias precargadas y seleccionadas por el usuario, dispone el orden en el cual cada uno de ellos actuará como electrodo de potencial o corriente (Loke, 2000). Esto genera distintas lecturas de resistividad aparente a lo largo del perfil, ubicándose la mayor profundidad de exploración en el centro del arreglo y la menor en los bordes del mismo (Figura 2.5.4.2).

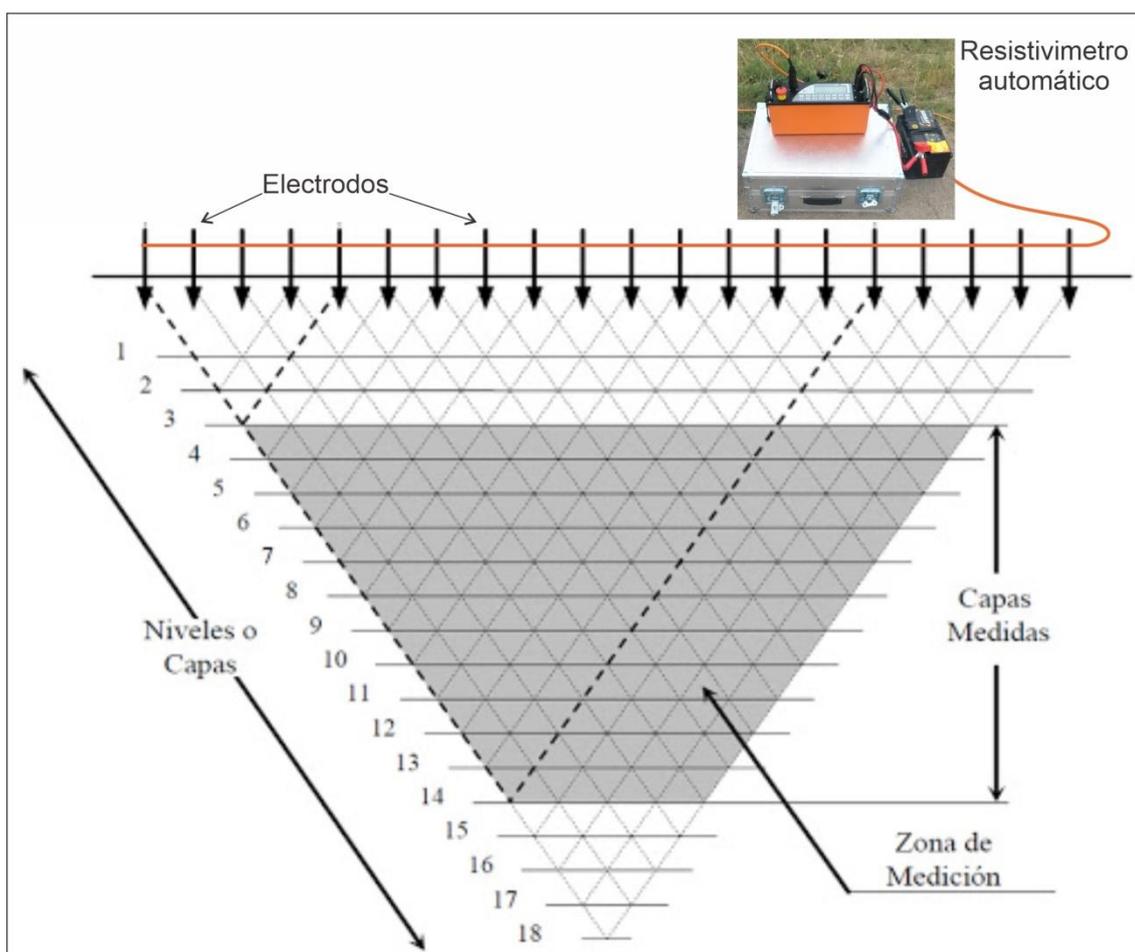


Figura 2.5.4.2: Modelo de funcionamiento de una tomografía eléctrica.

Por su parte las tomografías de resistividad eléctrica se realizaron utilizando un resistivímetro automático modelo ARES (Gf instruments, Republica Checa), que posee 48 electrodos con un espaciamiento máximo de 5 m entre cada uno. La máxima profundidad de exploración ronda los 48 m por debajo del terreno, con una progresiva (línea entre el primer y último electrodo) de 235 m. Las medidas se realizaron empleando las metodologías Wenner y Schlumberger (Figura 2.5.4.3)



Figura 2.5.4.3: Resistivímetro ARES.

El procesamiento de los datos de campo se realizó mediante el software Res2Inv (Geotomo). A partir de una serie de iteraciones y teniendo en cuenta distintos modelos calculados y contrastados con los datos de campo, grafica una imagen de resistividad eléctrica (IRE) 2D. Esta imagen se presenta con una escala de resistividad constituida por distintos colores de manera de facilitar su interpretación. (Figura 2.5.4.4).

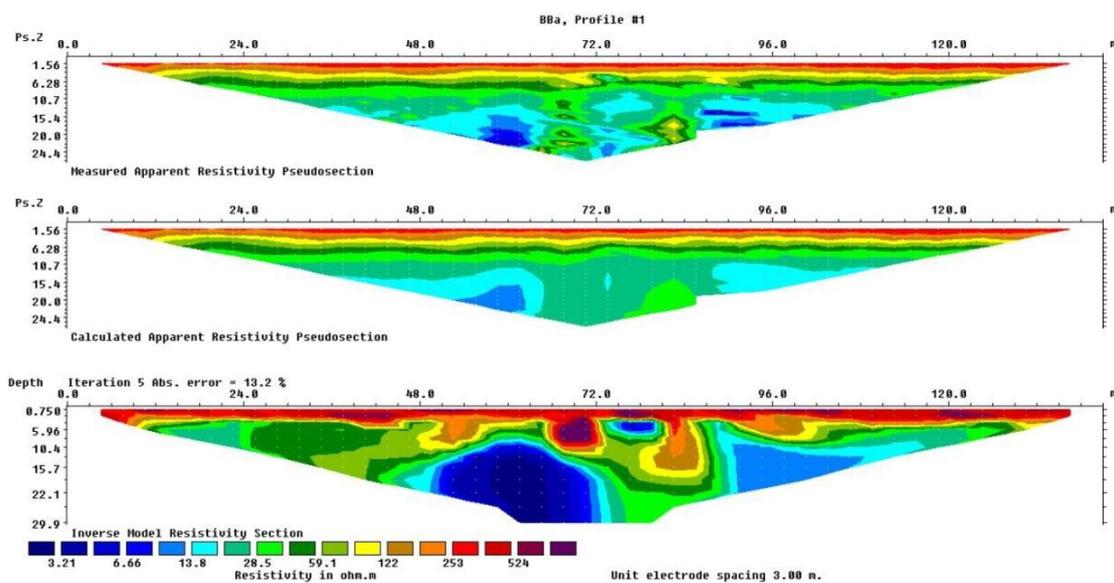


Figura 2.5.4.4: Imagen de resistividad eléctrica procesada con Res2Inv.

2.5.5 Perforación exploratoria y ensayo de bombeo

El ensayo de bombeo se realizó en una perforación construida para tal fin. Por cuestiones logísticas ajenas a esta tesis, la misma fue ubicada en el balneario Sauce Grande, distante a 10 Km del área de estudio sobre la cadena de médanos costeros.

Las operaciones de perforación (Figura 2.5.5.1), que constaron de dos pozos exploratorios y un piezómetro, fueron realizadas por la empresa QUAGLIA PERFORACIONES y Servicios SRL de la ciudad de Bahía Blanca. Se utilizó una máquina perforadora a rotación con circulación directa y trepano tipo tricono. El fluido de perforación fue preparado con un aditivo orgánico (Polímero viscosificante Eco SAN MAX) para prevenir eventuales desmoronamientos de la pared del pozo y evitar sellar la formación con un fluido a base de bentonita. El mismo pierde sus efectos sellantes al entrar en contacto con hipoclorito de sodio, con lo cual la integridad transmisiva de la formación se encuentra asegurada para posteriores bombeos.

Durante las tareas de perforación fueron tomadas muestras de los sedimentos atravesados cada 1 m y descriptas geológicamente (para el pozo 1 y 2). Las perforaciones fueron entubadas y engravadas según se consideró necesario.



Figura 2.5.5.1: Operaciones de perforación, a) equipo de perforación; b) trépano tricono; c) lodo espesado con gelificantes; d) toma de muestras litológicas; e) muestras de sedimentos de la perforación; f) filtro de PVC ranurado; g) grava tipo Paraná.

La perforación n° 1 fue realizada con un diámetro de 8,5" y una profundidad final de 12 m.b.b.p (metros bajo boca de pozo). La columna atravesada fue entubada, los primeros 3,5 m con cañería ciega de PVC, mientras que el espesor restante (8,5 m) con caño filtro de PVC. El espacio anular entre los filtros y la formación fue rellenado con grava tipo Paraná, de 1 a 2 mm de diámetro, mientras que los primeros metros fueron cementados para protección sanitaria.

Posteriormente al engravado se efectuaron tareas de desarrollo del pozo, con el fin de limpiarlo y optimizar la posición del paquete de gravas. El nivel freático se ubicó, previamente al bombeo, a una profundidad de 1,64 m.b.b.p.

La perforación del pozo de observación o piezómetro fue realizada a 4,22 m lineales de la perforación nº 1. Para su realización se utilizó un trépano tricono de 4,5", el entubado consistió en un caño de PVC tipo filtro, siendo su profundidad final de 6 m.

El ensayo de bombeo se efectuó a caudal constante durante 240 minutos, durante los cuales se midió, a intervalos pre establecidos, el nivel dinámico en el pozo de observación utilizando una sonda piezométrica y se calcularon los descensos.

Para la interpretación del ensayo de bombeo se utilizó el Software Aquifer Test [versión 2.5] desarrollado por Waterloo Hydrogeologic, Inc. (Ontario, Canadá).

A su vez se contó con información antecedente sobre ensayos de bombeo realizados en distintas localidades ubicadas en el cordón costero medanoso.

2.6 Análisis químicos

Las muestras de agua, tanto subterránea como de lluvia, fueron remitidas para su análisis a los laboratorios LANAQUI y LIUC de la ciudad de Bahía Blanca, dependientes del CONICET y la UNS.

Los aniones fueron analizados según las metodologías convencionales recomendadas en el "*Standard Method for the Examination of Water and Wastewater*" (1989), APHA, AWWA y WPCF. Ed.: Díaz de Santos S.A., 1992).

Las determinaciones de cationes se efectuaron con un Espectrómetro de Emisión Atómica por Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES), Shimadzu Simultáneo 9000 según Norma EPA 200.7. Se empleó la metodología de calibración externa utilizando patrones/estándares certificados Chem-Lab, Zedelgem B-8210 (Bélgica), ácido nítrico previamente ultrapurificado (sub-boiled) mediante un destilador Berghof distillacid BSB-939-IR (Alemania) y agua ultrapura [Water Purification Systems Millipore - Milli Q, modelo Elix Technology Inside 10 (Merck, Francia) (Características: 0.05 μ S/cm de conductividad eléctrica - 18.2 M Ω /cm de resistividad). Los sólidos disueltos totales fueron determinados mediante método gravimétrico (Vol. 50 mL en estufa, Temp. 105 °C hasta sequedad total, masa constante).

El Código Alimentario Argentino fue utilizado como base para establecer la calidad del agua para consumo humano.

Para definir la calidad de agua para riego se utilizó la clasificación de Wilcox (1955), la cual toma en cuenta la salinidad del agua, expresada como conductividad eléctrica (CE) y la relación existente entre el contenido de sodio respecto al calcio y al magnesio (expresados en meq/L).

Esta última relación, denominada relación de adsorción de sodio o RAS, viene dada por la siguiente expresión:

$$RAS = \frac{r(Na)}{\sqrt{\frac{r(Ca + Mg)}{2}}}$$

Los valores de RAS y CE de cada muestra se vuelcan en un gráfico de doble entrada (Figura 2.6.1).

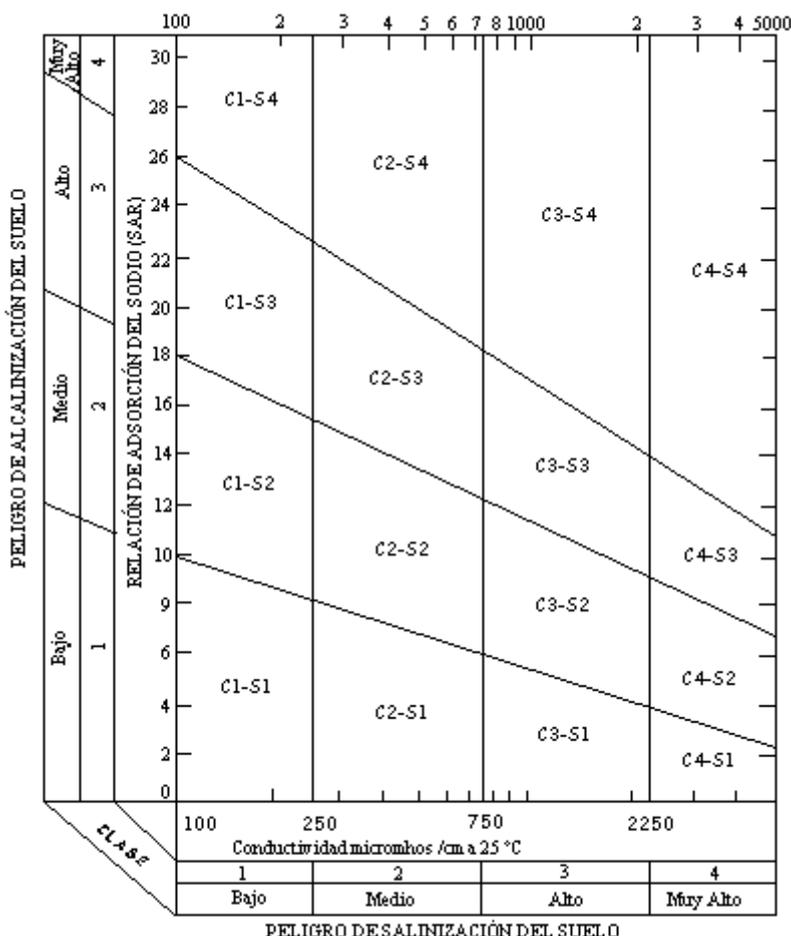


Figura 2.6.1: Clasificación de aguas para riego según Wilcox (1955)

Dependiendo del contenido salino del agua existen cuatro divisiones (C1 a C4) al igual que respecto a la cantidad de sodio (S1 a S4). De esta manera existen 16 posibles combinaciones para clasificar el agua para riego.

Según la salinidad la clasificación resulta:

C1: Agua con salinidad Baja (100-250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C). Apta para la mayor parte de los cultivos y tipos de suelo, con muy poco peligro de salinización. Es preciso algún lavado que se realiza normalmente con el riego, excepto en suelos de muy baja permeabilidad.

C2: Agua con salinidad Media (250-750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C). Puede utilizarse con un grado moderado de lavado. Se pueden cultivar plantas con tolerancia moderada a la sal en la mayoría de los casos sin prácticas especiales para el control de la salinidad.

C3: Agua con salinidad Alta (750-2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C). No puede usarse en suelos con drenaje deficiente. Selección de plantas muy tolerantes a las sales y posibilidad de control de salinidad del suelo, incluso con drenaje adecuado.

C4: Agua con salinidad Muy Alta (conductividad superior a 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C). No es apropiada en condiciones ordinarias para el riego. Puede utilizarse con una selección de cultivos en suelos permeables, de buen drenaje y con exceso de agua para lograr un buen lavado.

Según la sodicidad la clasificación resulta:

S1: Agua baja en sodio: Puede usarse en la mayoría de los suelos con escasas probabilidades de alcanzar elevadas concentraciones de sodio intercambiable.

S2: Agua media en sodio: Puede presentar un peligro en condiciones de lavado deficiente en terrenos con textura fina y elevada capacidad de intercambio catiónico (si no contienen yeso).

S3: Agua alta en sodio: En la mayor parte de los suelos puede alcanzarse el límite de toxicidad de sodio intercambiable. Es preciso un buen drenaje, lavados intensos y adición de materia orgánica. En suelos yesíferos el riesgo es menor.

S4: Agua muy alta en sodio. En general es inadecuada para riego, excepto en salinidades bajas o medias, donde la solución de calcio del suelo o uso de yeso u otras enmiendas puede hacer factible el uso de estas aguas.

Cada campo combina las clasificaciones de salinidad y sodicidad del agua, permitiendo interpretar sus características en conjunto y permitir decidir si el agua es apta o no para riego tomando en cuenta las condiciones del medio.

2.7 Balances hídricos y cálculos de recarga

Se realizaron balances de agua en el suelo con el objetivo de estimar los excesos hídricos. Esta metodología, basada en el balance de masas, toma como unidad de estudio el perfil de suelo. Teniendo presente la reserva de agua útil (capacidad de campo menos el punto de marchitez) y los datos de entrada al sistema, en este caso la precipitación (P), junto con los de salida, la evapotranspiración potencial (ETP), es posible realizar el balance para un determinado rango de tiempo y obtener así los excesos del sistema (eventual recarga).

Para el cálculo del balance se utilizó el software Balshort V.3 (modificado de Carrica, 1993), el cual mediante el ingreso de datos de precipitación diaria, ETP mensual, humedad del suelo, textura (tipo de suelo) y la cobertura vegetal o tipo de cultivo (intercepción vegetal) calcula el valor de evapotranspiración real (ETR) y los excesos hídricos (recarga).

Como complemento y para contrastar resultados de metodologías independientes, se procedió a calcular la recarga por medio del balance de masa del ion cloruro (Cl).

Partiendo de la base que el ion cloruro es de carácter conservativo, el agua subterránea presentará un enriquecimiento en cloruros respecto al agua de lluvia. Este valor llamado "factor de enriquecimiento en cloruros" o FEC se calcula de la siguiente forma:

$$FEC = [Cl_r] / [Cl_p]$$

De esta manera y teniendo en cuenta la falta de escurrimiento superficial (dadas las características geológicas de la cubierta sedimentaria) y la precipitación media anual (P mm/año) es posible estimar la recarga al acuífero (R mm/año), como:

$$R = P * 1/FEC$$

2.8 Tipificación Humedales

Para llevar a cabo la tipificación de los humedales se procedió, en primera instancia, a identificarlos mediante imágenes satelitales y campañas de campo. Si bien la definición de humedal es amplia, la tipificación se concentró en aquellos que tienen

una marcada relación con el agua subterránea. De esta manera, el foco se concentró en los humedales continentales o "de tierra adentro", mientras que los sectores de marismas o áreas intermareales no fueron analizados.

El estudio de los humedales se basó en la metodología expuesta por Manzano *et al.* (2002). Esta tiene en cuenta los factores hidrológicos del humedal, analizando los procesos dominantes en conjunto con su relación temporal y espacial.

Los factores principales tenidos en cuenta son:

- El origen del agua (superficial, subterráneo o mixto).
- El modo de vaciado (escorrentía superficial, evaporación, infiltración).
- Hidroperiodo (frecuencia y permanencia de la inundación o de la saturación del suelo).
- Tasa de renovación del agua y sales en la cubeta (alta, media o baja).

Como factores complementarios (deseables de conocer) la metodología plantea los siguientes:

- Composición química del agua (pH, salinidad, tipo de agua y su variabilidad).
- Hidrodinámica (configuración de los flujos dominantes).

La metodología contempla clasificar los humedales, como mínimo, utilizando los factores principales y de ser posible completar la misma con los factores complementarios.

Si bien el grado de detalle depende de los datos con que se cuente, una vez definido el tipo hidrológico de humedal, la metodología permite completar progresivamente las categorías con mayor información a medida que esta es obtenida.

2.9 Vulnerabilidad y contaminación

El análisis de la vulnerabilidad intrínseca del acuífero se realizó mediante las metodologías GOD (Foster, 1987; Foster e Hirata, 1988) y DRASTIC (Aller *et al.*, 1987). A partir de los resultados arrojados, se elaboró un mapa de vulnerabilidad del acuífero freático.

Para el poblado de Pehuen-Có (sector urbano de mayor importancia dentro del área de estudio), se llevó a cabo un inventario de posibles actividades antrópicas contaminantes según la metodología sugerida por USEPA (1991). Posteriormente se calcularon, para cada actividad inventariada, el índice de carga contaminante (ICC)

mediante la metodología propuesta por Foster *et al.* (2002), donde son tenidas en cuenta las siguientes características:

- La clase de contaminante involucrado, definida por su persistencia en el ambiente subterráneo (por actividad bacteriológica y reacciones químicas) y su coeficiente de retardo (relacionado con el flujo del agua subterránea en el ambiente).
- La intensidad de la contaminación, definida por la concentración de cada contaminante considerado (en relación a valores guía de la OMS) y la proporción de la recarga involucrada en el proceso.
- El modo en que el contaminante es descargado al subsuelo, definido por la carga hidráulica (incremento sobre la tasa de recarga natural o sobrecarga hidráulica) y la profundidad del nivel freático, donde el efluente o lixiviado es descargado o generado.
- La duración de la aplicación de la carga contaminante, definida por la probabilidad de descarga del contaminante al subsuelo (ya sea intencional, incidental o accidental) y por la duración de la aplicación de dicha carga en el subsuelo.

El peligro a la contaminación del acuífero freático se analizó a partir de la interacción en la intensidad de la carga contaminante antrópica y la vulnerabilidad del acuífero, según lo propuesto por Foster e Hirata (1988).

2.10 Referencias bibliográficas

- Allen, R.G.; L. S. Pereira; D. Raes y Smith, M. (1998).- Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56.
- Almorox J.; Aguirre M.; Elisei V. y Commegna M. (2012): Calibración del modelo de Hargreaves para la estimación de la evapotranspiración de referencia en Coronel Dorrego, Argentina. Universidad Nacional de Cuyo, Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, 44:101:109.
- Carrica J. (1993). Balshort: Un programa de balance hidrológico diario del suelo aplicado a la región sudoccidental pampeana. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Actas Tomo VI:243-248.

- CORFO-Río Colorado, (1966). Estudio técnico económico y social del valle bonaerense Río Colorado. Provincia de Buenos Aires, Ministerio de Economía. Edison Consult. S.A.
- Coutagne, A. (1949), metodología para el cálculo de la evapotranspiración real, en Custodio, E. y Llamas, M. R. (1976). Hidrología Subterránea. Tomo I. Ed. Omega, Barcelona España. Tomo I
- Foster, S. (1987). Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy. Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollution, Proceedings and Information No. 38 of the International Conference held in the Netherlands, TNO Committee on Hydrological Research, Delft, The Netherlands.
- Foster, S. e Hirata, R. (1988). Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data. WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual, Lima, Peru.81 pp.
- Foster, S. Hirata, R., Gomes, D., D'elia, M. Y Paris, M. (2002). Groundwater quality protection: a guide for water service companies, municipal authorities and environment agencies. World Bank, WMATE. Washington, 101 pp.
- Hargreaves, G.H & Samani, Z.A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Eng. in Agric., 1(2): 96-99.
- INA. (2011). Relevamiento geoelectrico en las inmediaciones de la Base Naval Puerto Belgrano. Inédito.
- Manzano, M., F. Borja y C. Montes. (2002). Metodología de tipificación hidrológica de los humedales españoles con vistas a su valoración funcional y a su gestión. Aplicación a los humedales de Doñana. Boletín Geológico y Minero, 113 (3): 313-330.
- Loke, M. H. (2000). Tutorial: 2-D and 3-D Electrical imaging surveys. M.H.Loke. 128 p.
- SASBA. (1976). Estudio hidrogeológico para la provisión de agua subterránea potable a la localidad de Monte Hermoso, Partido de Coronel Dorrego, Provincia de Buenos Aires, (Inédito).
- Standard Method for the Examination of Water and Wastewater". (1989), American Public Health Association (APHA); American Water Works Association (AWWA) y Water Pollution Control Federation (WPCF). Ed. : Díaz de Santos S.A. (1992).

- Soria, M. V. y Matar de Saquis, M. A. (2016). Nociones de Teledetección, Laboratorio de procesamiento de imágenes y SIG, Instituto de investigaciones mineras. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan. Disponible en: <http://www.unsj.edu.ar/unsjVirtual/cartografiaaplicadaminas>
- Thorntwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. Geologic. Rev. Vol. 38. 55-94. En Custodio y Llamas 1976. Hidrología Subterránea, Ediciones Omega, Barcelona. ISBN 84-282-0446-2. 323-324.
- Thorntwaite, C. W. y Mather. J. (1955). Instrucciones y tablas para el cómputo de la evapotranspiración potencial y el balance hídrico. INTA, Instituto de suelos y agroecología. Volumen interno N° 46 (1967). Buenos Aires.
- Turc, L. (1954), metodología para el cálculo de la evapotranspiración real, en Custodio, E. y Llamas, M. R. (1976). Hidrología Subterránea. Tomo I. Ed. Omega, Barcelona España. Tomo I
- USEPA (United States Environmental Protection Agency), (1991). Guide for conducting contaminant inventories for public drinking water supplies: technical assistance document. Environmental Protection Agency, Office of Water. Washington D.C.
- Valdez, S. P. (2016). Características hidrogeológicas de la zona costera entre Pehuénco y Punta Alta, Provincia de Buenos Aires. Trabajo final de licenciatura, UBA.
- Velazco Mendoza, M. A. (2017). Caracterización del acuífero de Ahualulco, San Luis Potosí en una zona de riego, a partir de tomografía eléctrica en pozos y en superficie. Tesis de grado. Instituto politécnico nacional escuela superior de ingeniería y arquitectura. Ciudad de Mexico, Mexico.
- Wilcox L. V. (1955). Classification and use of irrigation waters. United States Department of Agriculture, Circular 969. 19 p.

Capítulo 3

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL ÁREA

3.1 Geomorfología

Las zonas costeras son ambientes dinámicos, donde la mayoría de los procesos modeladores del paisaje interactúan generando variadas geoformas. De esta manera se establecen vínculos o dependencias, donde las variaciones en alguno de los procesos modeladores o en la disponibilidad de materiales alteran todo el entorno (Packham y Willis, 1997).

La playa y las dunas o médanos (estos dos últimos términos en adelante se utilizarán como sinónimos) intercambian constantemente sedimentos, es decir, poseen un equilibrio dinámico que puede ser afectado tanto naturalmente como por acciones antrópicas.

El aporte inicial de arena para la formación de dunas costeras, proviene de los depósitos originados por las corrientes marinas en la zona de playa. Una vez que estos depósitos se encuentran en contacto con el aire y se secan, son susceptibles de ser removidos y transportados por el viento. Dependiendo del tamaño de grano y de su humedad existe una velocidad del viento crítica, a partir de la cual los granos comienzan a moverse. Este desplazamiento ocurre muy cerca del suelo y se da en forma de saltos. Los granos al caer chocan con otros, generando un aumento en la cantidad de arena en movimiento. De esta manera, en poco tiempo, es posible tener un gran volumen de arena movilizado (Nichols, 2009).

La formación de dunas se inicia cuando la arena transportada por el viento encuentra un obstáculo en su camino, ya sean plantas, restos de maderas, objetos varios arrastrados por las tormentas, etc. Al disminuir su velocidad los granos se depositan generando acumulaciones alrededor y posteriormente sobre el obstáculo inicial. Dentro del gran abanico de obstrucciones que el viento y la arena encuentran, las plantas son las más eficaces para su formación, ya que pueden crecer a la vez que la acumulación de arena aumenta (Jiménez Oroció *et al.*, 2014). Una vez formada, la duna comienza a desplazarse o migrar en la misma dirección que los vientos

predominantes. Condicionada principalmente por la dirección de estos, la duna tomará distintas formas o morfologías.

Las dunas que no poseen cobertura vegetal que impida su movimiento se denominan activas o vivas. En el caso que la duna cuente parcialmente con vegetación esta dificultará su migración, siendo las dunas semi-fijas las que conservan cierta posibilidad de migración. Con una cobertura vegetal suficiente, el movimiento de las dunas se verá impedido formando así las denominadas dunas o médanos fijos. Esta dinámica es de doble sentido, pudiendo una duna fija volver a ser viva si su cobertura vegetal se ve afectada, muere o es removida por el hombre (Figura 3.1.1).

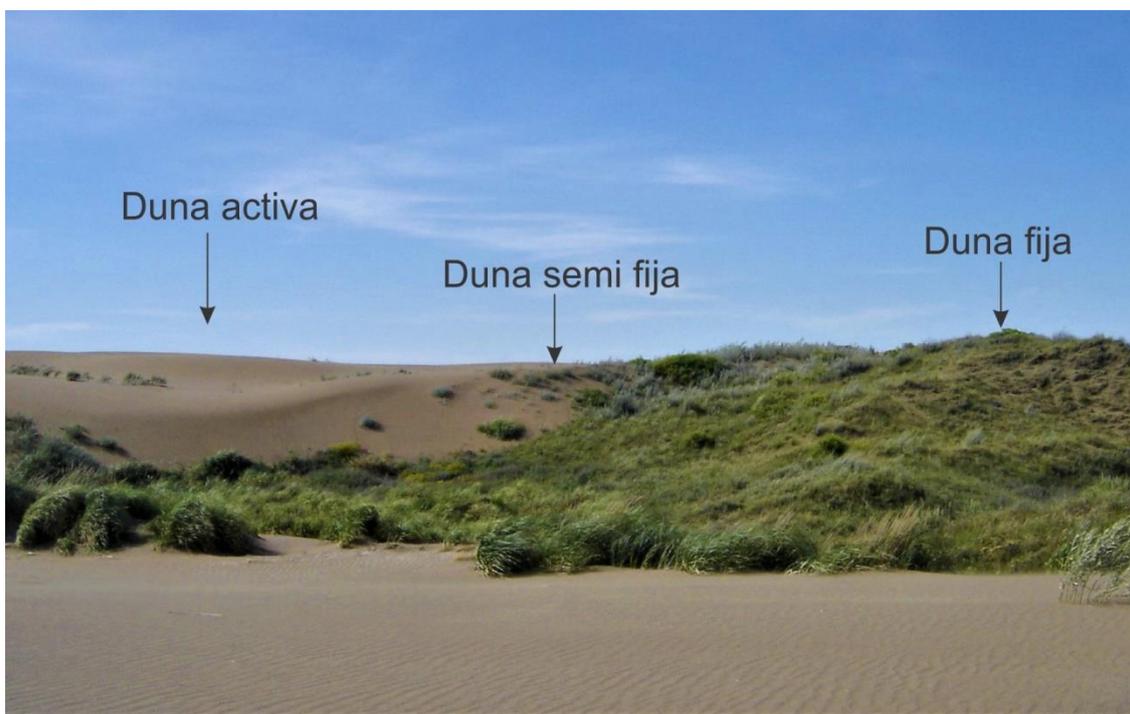


Figura 3.1.1: Dunas activas, semi fijas y fijas por vegetación.

Las dunas suelen disponerse en forma de cordones paralelos a la costa. En el área de estudio pueden encontrarse sucesivos cordones desde el sector de playa hasta el nivel de planación general (González Uriarte, 1984) o llanura agrícola ganadera que se extiende desde las Sierras Australes, con una suave pendiente hacia el sur (mar). La mayoría de los cordones costeros se encuentran fijos o semi fijos por vegetación, existiendo partes de dunas activas relacionadas a sectores lindantes a la playa. Estos parches de variada amplitud dependen de los vientos, la humedad y el aporte de arena. Dichas dunas varían entre transversales, con cresta barjanoide y barjanes propiamente dichos. Las dunas fijas y semifijas se ubican en sectores más continentales respecto a las anteriores, existiendo zonas de transición entre unas y otras. Las dunas fijas y semifijas suelen presentar características parabólicas.

En el límite entre el cordón medanoso y la llanura se observan sectores de médanos fijos cuya morfología no es clara debido a la abundante vegetación que presentan. Entre la ciudad de Monte Hermoso y el balneario Pehuen Co, Marcomini *et al.* (2005) identifican dos campos de dunas inactivas bien diferenciados en función de su textura sedimentaria.

Otro factor de importancia son los procesos marinos que condicionan la morfología de la costa, pudiendo generar costas erosivas o acrecionales (Codignotto, 1997).

En el área de estudio se encuentran sectores tanto de costa erosiva como acrecional. Entre la ciudad de Punta Alta y el balneario Pehuen Co se observan costas acantiladas y afloramientos rocosos en la playa y en planicies de marea (Figura 3.1.2). Estos afloramientos comúnmente denominados "beachrock" presentan una matriz de arena gruesa-muy gruesa, grava y escasos fragmentos de moluscos, hallándose fuertemente cementada por carbonato de calcio. Su génesis se vincula con la evolución morfosedimentológica costera (Aliotta *et al.*, 2009).



Figura 3.1.2: Sector costero de la Base Baterías. Pueden observarse distintas configuraciones de playa y geformas

En los sectores donde se da la acumulación de sedimentos es posible apreciar barras y espigas arenosas, playas ricas en arena y áreas de marismas.

Particularmente en la zona próxima a Punta Alta la configuración de la costa cambia, desapareciendo la playa arenosa y observándose una marisma fangosa con brazos de marea bien definidos (Figura 3.1.3).



Figura 3.1.3: Distintas configuraciones de costas del sector estudiado. A) Costa acrecional con acumulación de arena y geformas relacionadas. B) Sectores de marisma fangosa próximas a la ciudad de Punta Alta.

Debido a la elevada permeabilidad que presenta el cordón medanoso, el escurrimiento superficial es inexistente o, en casos de precipitaciones excepcionales, de corto recorrido, infiltrándose rápidamente. Los cursos de agua en el área se limitan al río Sauce Grande (sector Monte hermoso) y al arroyo Napostá Chico (Próximo a Punta Alta). La cadena de médanos impide el normal escurrimiento de los ríos o

arroyos provenientes de las Sierras Australes, actuando como una barrera que desvía los cursos por varios kilómetros hacia el este, donde finalmente se produce su desembocadura en el mar. Este es el caso del Río Sauce Grande, el cual forma a la altura de Monte Hermoso, la laguna Sauce Grande, para luego continuar su recorrido hacia el mar. No ocurre lo mismo con el arroyo Napostá chico, el cual en las estaciones lluviosas finaliza en una laguna endorreica llamada Unamuno, próxima a la ciudad de Punta Alta. Esta barrera que impide el normal escurrimiento de la llanura, genera amplios sectores anegados en el límite entre las dos geoformas, relacionado con el afloramiento del nivel freático.

Teniendo en cuenta lo anterior se pueden distinguir las siguientes unidades geomorfológicas (Figura 3.1.4):

- 1- Franja costera supra litoral, la cual varía entre 4 a 8 km de ancho. Es ocupada por dunas costeras de mediana altura (hasta 44 m sobre el nivel del mar) y se subdivide según el grado de vegetación presente sobre las mismas (**Unidad I**).
- 2- Playa arenosa y afloramientos rocosos discontinuos en plataformas de abrasión (**Unidad II**).
- 3- Depresiones longitudinales donde se ubican las lagunas y humedales en el sector norte (**Unidad III**).
- 4- Sector de marismas dominadas por fangos (**Unidad IV**).
- 5- Llanura pampeana o nivel de planación general (**Unidad V**).



Figura 3.1.4: Mapa geomorfológico del área de estudio.

3.2 Topografía

La principal característica que presenta el cordón medanoso es la continua variación de alturas producto de la sucesión de dunas. Las crestas de las dunas y sus bajos no suelen poseer diferencias de altura mayores a los 5 m, dependiendo mayormente de su característica morfológica y su condición de movimiento.

Para definir y describir la topografía del sector, en primera instancia, se utilizaron las cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar (IGM). Debido a la dinámica de las dunas y a la antigüedad de las cartas (realizadas en el año 1967) se optó por generar un nuevo mapa topográfico (Figura 3.2.1) utilizando más de 5.000 puntos de elevación de la base de datos de NASA para su producto SRMT3 (Shuttle Radar Topography Mission). Esta misión tuvo como objetivo generar un modelo digital de elevación del terreno a partir de datos generados por interferometría radar de apertura sintética. El mapa generado fue contrastado con puntos acotados del IGM y demás referencias existentes en las cartas antes mencionadas. La equidistancia elegida para generar un mapa topográfico simplificado fue de 5 m, permitiendo definir los rasgos principales del relieve.

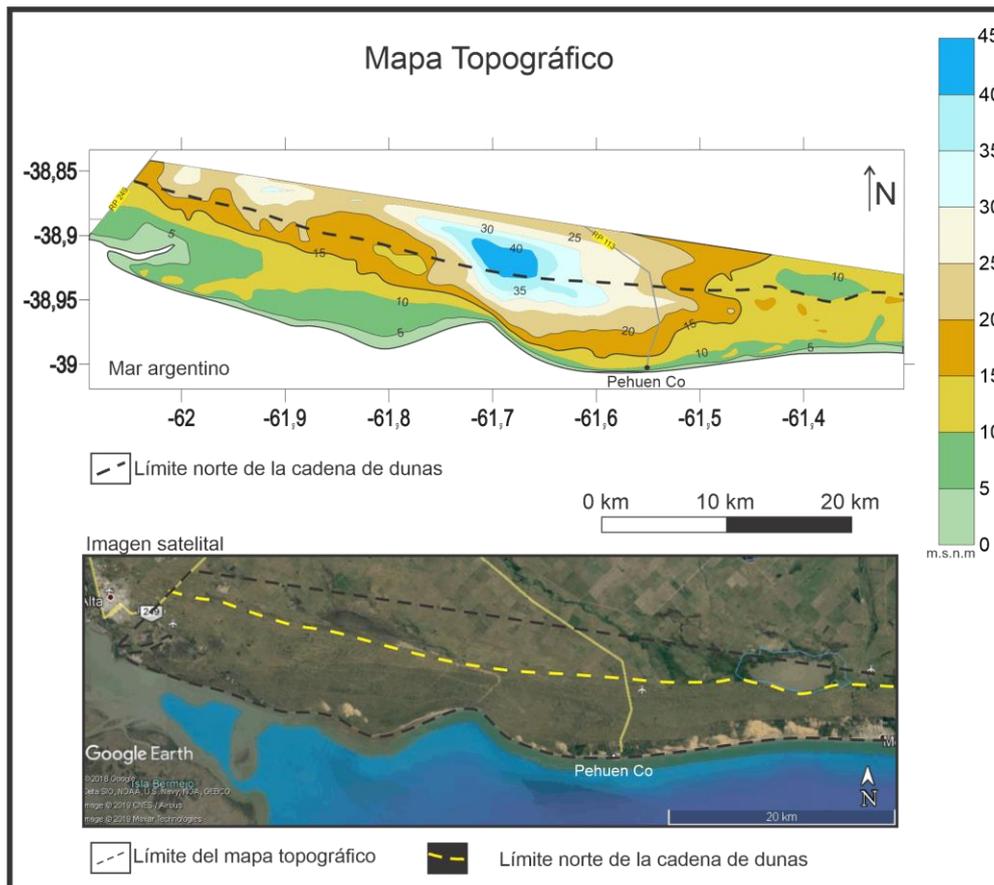


Figura 3.2.1: Mapa topográfico junto con la imagen satelital de referencia.

Se puede observar que las mayores alturas se encuentran en el sector norte, en continuidad con los valores provenientes de la zona de llanura. En el sector centro norte del área de estudio se reconoce un domo cuya altura supera los 40 m. Las elevaciones disminuyen hacia el sur, finalizando en la costa donde se encuentra el 0 relativo (o m.s.n.m).

3.3 Clima

Se procesaron datos de precipitaciones correspondientes a la estancia El Palomar, establecimiento rural ubicado en la entrada del balneario Pehuen Co. Dichos datos componen una serie ininterrumpida de 36 años (1982-2017) de registros mensuales de lluvia. Ante la falta de series largas de datos térmicos, se utilizaron los promedios mensuales calculados entre la ciudad de Bahía Blanca y Tres Arroyos para el periodo 1981-2010 (Servicio Meteorológico Nacional) los cuales se consideran representativos de las condiciones meteorológicas medias de la región (cfr. Capítulo 4).

El clima es, según Köppen, de transición entre "templado húmedo" (CF) que categoriza a la llanura bonaerense y el de "estepa" (BS), dominante en la Patagonia (Carrica, 1998). Según los índices climáticos de Thornthwaite para los registros termométricos y pluviométricos de la estancia El Palomar, Bahía Blanca y Tres Arroyos es C1 d B'2 a' es decir subhúmedo mesotermal con pequeña deficiencia de agua y concentración térmica estival.

La precipitación anual media para la serie de 36 años de Pehuen Có da como resultado un valor de 732 mm/año. En el sector de Tres arroyos para el período citado alcanzó los 835,8 mm, mientras que para Bahía Blanca la media fue de 651,2 mm, siendo marzo y octubre los meses más lluviosos. La temperatura anual media ronda los 14,7°C con máximas cercanas a los 40°C en enero y mínimas de 8 °C en julio. Los vientos predominantes son del sector norte y noroeste con velocidades medias anuales de 9 km/h. La mayor intensidad y frecuencia ocurre en otoño y primavera.

El verano constituye la estación seca del año dado que la evapotranspiración potencial (ETP) supera a la lluvia estacional (P) y se producen déficits hídricos. Por el contrario el otoño y la primavera son las estaciones húmedas ($P > ETP$) donde se producen los mayores excesos hídricos.

3.4 Suelos

La superficie del área presenta características típicas de suelos formados sobre grandes acumulaciones de arenas, siendo la erosión eólica y la elevada permeabilidad las principales limitantes en su desarrollo.

Como primer referencia sobre la caracterización de los suelos del sector se cuenta con el mapa de suelos del instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA 1989). Posteriormente, los suelos de la provincia han sido caracterizados por Panigatti (2010) quien clasifica y describe dentro de su investigación, los suelos del sector costero. El área de estudio se ubica dentro del dominio edáfico 27, unidad cartográfica 27^a según el mapa de INTA. Dicho dominio se compone de una asociación de Udipsament típico, Cuarzipsament típico y Hapludol éntico, coincidiendo con las descripciones de Panigatti (2010).

Los suelos correspondientes a Udipsament típico se encuentran en los flancos y cúspides de las dunas fijas. Estos suelos son profundos, excesivamente drenados y de desarrollo incipiente, sin alcalinidad, no salinos y con bajas concentraciones de materia orgánica (0,8%), presentando textura franca.

Los Cuarzipsament típicos son suelos característicos de los médanos activos. Se presentan como suelos profundos, excesivamente drenados, de desarrollo incipiente, sin alcalinidad, no salinos y con contenido de materia orgánica prácticamente nulo (0,03%). Poseen textura arenosa y estructura en grano suelto con cantidades significativas de carbonato de Calcio en masa.

El último tipo de suelo se encuentra mayormente en las zonas de interduna, correspondiendo a los Hapludoles énticos. Estos suelos son profundos, algo excesivamente drenados, de desarrollo incipiente, sin alcalinidad, no salinos y bien provistos de materia orgánica (2,2%). Su textura es franco arcillo arenosa a franco arenosa, presenta estructura en bloques subangulares a granular en el horizonte AC y un horizonte C con abundante carbonato de Calcio.

3.5 Flora del sector costero bonaerense austral

Desde el inicio la biología y la botánica se han propuesto clasificar todas las especies de plantas conocidas, ordenándolas de acuerdo a su fisonomía y la predominancia de tipos biológicos, o considerando sus relaciones florísticas (Cabrera, 1971). De esta manera la existencia de comunidades que conviven bajo condiciones

similares puede utilizarse sistemáticamente para clasificar y dividir regiones a distintas escalas.

Adolf Engler en 1936 dividió el planeta en siete grandes regiones fitogeográficas, entendiendo por tal a una división territorial basada en los endemismos de las familias de plantas. La superficie de la República Argentina se incluye dentro de dos de estas regiones, la Neo-tropical y la Antártica. A su vez, dentro de las regiones fitogeográficas se encuentran los "dominios fitogeográficos", generando así subdivisiones más homogéneas. En nuestro país (sin tener en cuenta el sector antártico) existen tres dominios, a saber: Dominio Amazónico, Dominio Chaqueño y Dominio Patagónico. Dentro de los dominios existe una subdivisión aún más exhaustiva denominada "provincia ". Según Cabrera (1976) nuestro país se subdivide en diez provincias fitogeográficas (Figura 3.5.1). Teniendo en cuenta la componente biótica, el territorio nacional podría dividirse en dieciocho ecorregiones (áreas biogeográficas definidas por su flora, fauna, clima y tipos de suelos entre otros factores.



Figura 3.5.1: Provincias fitogeográficas de Argentina según Cabrera (1976).

El área de estudio se encuentra en el límite entre la provincia del Espinal y la provincia Pampeana. El hecho de encontrarse en una zona de transición o ecotono implica, en el común de los casos, una mayor riqueza florística debido a la interacción de especímenes provenientes de ambas provincias.

La provincia del Espinal o también conocida como bosque pampeano, se extiende desde la provincia de Corrientes, norte de las provincias Entre Ríos y Santa Fe, centro y sectores del sur de las provincias de Córdoba y San Luis, noreste de la provincia de La Pampa y Sur de la provincia de Buenos Aires, formando un arco (Cabrera, 1976). En la actualidad poca de la flora autóctona se encuentra en los sectores originalmente definidos para esta provincia, debido a que el incremento de la actividad agroganadera ha destruido la mayor parte del bosque nativo.

La provincia Pampeana, conocida como pradera pampeana, comprende la mayor parte de la provincia de Buenos Aires, Noreste de la provincia de la Pampa, sur de las provincias de Córdoba y Santa Fe, una pequeña porción del sur de la provincia de San Luis, la mayoría de la provincia de Entre Ríos y parte del sureste de la provincia de Corrientes. Se caracteriza por la escasez (prácticamente ausencia) de especímenes arbóreos y es dominada por estepas de gramíneas. A su vez, esta provincia es dividida en cuatro distritos a saber; distrito fitogeográfico Pampeano Uruguayense, distrito fitogeográfico Pampeano Oriental, distrito fitogeográfico Pampeano Occidental y distrito fitogeográfico Pampeano Austral (Cabrera, 1976). La mayor parte del área de estudio se emplaza dentro de este último distrito.

Si bien en las barreras medanosas oriental y austral (Isla *et al.*, 2001) se emplazan la mayoría de las localidades balnearias del país, el deterioro de los ecosistemas no ha sido uniforme. De esta manera la barrera medanosa Austral presenta los sectores más preservados, encontrándose tanto flora autóctona y endémica como exótica (Celsi y Monserrat, 2008).

Debido a la dinámica costera la vegetación dunicola suele presentarse zonificada, ya sea por aspectos ambientales como geomorfológicos. El cordón costero austral, en el área de estudio, se presenta como un conjunto de ambientes xerófilos (ambientes secos), donde a su vez se encuentran en forma de parches o de manera puntual, zonas hidrófilas (ambientes ricos en humedad) asociadas a bajos interdunales y lagunas (Monserrat *et al.*, 2006).

Estos autores describen para el sector el predominio de estepas, siendo la estepa mixta el ambiente más frecuente y variable en longitud y distancia al mar. En el

sector de la playa distal, reconocen la estepa de *Spartina ciliata* (tipo de gramínea) como la única formación desarrollada en ese ambiente e identificaron para sectores cercanos a la costa, a la Estepa de *Panicum urvilleanum*.

Los sectores de dunas activas presentan escasa a nula cobertura vegetal siendo, cuando existen, más baja que en las otras geoformas. La dinámica del sector costero sumado al factor climático estacional producen en las áreas de interduna zonas de elevada humedad, pudiendo en algunos casos aflorar el nivel freático formando lagunas u "ojos de agua". Este medio hidrófilo se ve dominado por los Totorales, juncales y cortaderas, los cuales pueden presentar gran cobertura vegetal y ejemplares de gran tamaño. En sectores de interduna secos se reconocen pastizales psamófilos, encontrándose matorrales de similar afinidad en porciones más elevadas del médano (Celsi y Monserrat, 2008.).

En escasas porciones del partido de Coronel Rosales, sobre la franja medanosa de Pehuen-Có se presenta una especie particular de planta que es endémica de ese sector y se encuentra en peligro de extinción. Su nombre original fue *Neosparton darwinii* en honor a Charles Darwin, quien descubrió su existencia en 1832 durante sus viajes por la costa de Argentina. El *Neosparton darwinii*, hoy en día denominado como *Neosparton ephedroides*, es un arbusto de hasta dos metros de alto, formado por gran cantidad de ramas, con tallos verdes y flores blancas (Figura 3.5.2). Debido a su fragilidad ecológica y el limitado número de ejemplares existentes (crece en un área de tan solo 30 km²), el municipio de Coronel Rosales lo ha declarado especie protegida, y está prohibida su destrucción (Laboratorio de plantas vasculares, UNS).



Figura 3.5.2: *Neosparton ephedroides*.

En los sectores urbanos la flora dominante resulta exótica. Se encuentra representada en su mayoría por especímenes arbóreos como cipreses, coníferas, eucaliptus y tamariscos, utilizados por el hombre para fijar las dunas y generar sectores estables, propicios para el emplazamiento de viviendas (Figura 3.5.3).



Figura 3.5.3: Vegetación exótica en Pehuén-Có.

La mayor concentración arbórea se encuentra en el área de Pehuén-Có, principalmente en el área del denominado "Bosque encantado".

3.6 Referencias bibliográficas

- Aliotta, S., J.O. Spagnuolo y E.A. Farinati. (2009). Origen de una roca de playa en la región costera de Bahía Blanca, Argentina. *Pesquisas em Geociências*, 36(1): 107-116.
- Cabrera, A.L. (1971). Fitogeografía de la República Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 14, 1-42.
- Cabrera, A.L. (1976). Regiones fitogeográficas argentinas. Acme, Buenos Aires. 85 pp. (Enciclopedia argentina de agricultura y jardinería; Tomo 2 fasc. 1)
- Carrica, Jorge. (1998). Hidrogeología de la cuenca del Arroyo Napostá Grande, Provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral. Universidad Nacional del Sur. (inédita)
- Celsi, C., E. y Monserrat, A., L., (2008). La vegetación dunícola en el frente costero de la Pampa Austral (Partido de Coronel Dorrego, Buenos Aires) *Multequina*, núm.

- 17, pp. 73-92 Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas. Mendoza, Argentina
- Codignotto, J. O. (1997). Geomorfología y dinámica costera. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP): Mar del Plata. Series: El mar argentino y sus recursos pesqueros, 1: 89-105.
- Engler, A. (1936), Syllabus der Pflanzenfamilien : eine Übersicht über das gesamte Pflanzensystem
- González Uriarte, M. (1984). Características geomorfológicas de la porción continental que rodea la Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires. Actas del 9no. Congreso Argentino de Geología. Bariloche. Argentina.
- Laboratorio de plantas vasculares, UNS. En: www.plantasvasculares.uns.edu.ar. Ultimo acceso 10/05/2017.
- INTA. (1989). Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires. Escala 1: 500.000 Buenos Aires. 525 p.
- Isla, F. I., Cortizo L. C. y Turno Orellano H. A. (2001). Dinámica y evolución de las barreras medanosas, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Revista Brasileira de Geomorfología 2(1):73-83.
- Jiménez-Orocio, P. Hesp, M.L. Martínez, I. Espejel, P. Moreno-Casasola. (2014). Tipos de dunas M.L. Martínez, P. Moreno-Casasola, I. Espejel, O. Jiménez-Orocio, D. Infante-Mata, N. Rodríguez-Revelo (Eds.), Diagnóstico general de las DC de México, Comisión Nacional Forestal, México, D.F. (2014), pp. 27-48
- Marcomini S.C., Uehara F. y R. A. López. (2005). Morfodinámia costera y su aptitud para las explotaciones de áridos para construcción en Pehuen-có. In: Cabaleri N, Cingolani CA, Linares E, López de Luchi MG, Ostera HA, Panarello HO (eds) Proceedings XVI congreso geológico argentino, La Plata, 20-23 Septiembre 2005.
- Montserrat, A. L., Celsi C. E. y Codignotto J. O. (2006). Zonificación de la vegetación asociada a la geomorfología costera entre Pehuen-có y Monte Hermoso. VI Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar, Puerto Madryn.
- Nichols, G. (2009). Sedimentology and stratigraphy (2nd ed.). Chichester, UK ; Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell.
- Packham JR, Willis AJ. (1997). Ecology of dunes, salt marsh and shingle. Chapman & Hall, London, United Kingdom.

Panigatti, J.L. (2010). Argentina 200 años, 200 suelos. Ediciones INTA Buenos Aires. 345 pp. Ilustraciones y cuadros. <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-200-suelos.pdf>. Ultimo ingreso: 24/06/2020.

Capítulo 4

HIDROMETEOROLOGÍA

4.1 Introducción

El sudoeste bonaerense representa el extremo sur de la amplia llanura pampeana argentina. Este límite, marcado por la interfase entre el continente y el mar, se ubica en una zona clasificada como de climas templados con variaciones estacionales marcadas.

La variabilidad estacional es una característica típica del sector. La misma es producto de distintos factores como su ubicación geográfica y la topografía entre otras. Estas condiciones generan la interacción de distintas masas de aire, que junto a los desplazamientos de los centros de acción (sectores con distintas presiones atmosféricas) son en gran parte responsables de las características climáticas de la región. Como claro ejemplo de esto se puede tomar la masa de aire Antártica, la cual llega al sector en los meses de invierno, generando frentes polares. Así mismo, durante el verano se hace presente la masa de aire Tropical marítima, la cual es generadora de lluvias y tormentas estivales (Campo de Ferreas *et al.*, 2004).

Esta variabilidad climática se ve reflejada en la estacionalidad que presentan las precipitaciones en el sudoeste bonaerense, las cuales se concentran en dos periodos del año: otoño y primavera. Durante el invierno se da la estación seca, mientras que el verano es caracterizado como un periodo semi-seco a seco con elevados valores de evapotranspiración (Zotelo, 2011).

Respecto a la temperatura, el sudoeste bonaerense presenta valores medios entre 14 °C y 20 °C, pudiendo superar los 40 °C durante el verano y con inviernos donde las temperaturas pueden ser menores a 0 °C durante varios días (Campo de Ferreas *et al.*, 2004).

4.2 Pluviometría

Los mapas de isoyetas existentes para el sudoeste bonaerense muestran un aumento de las precipitaciones en sentido oeste – este y de sur a norte. La zona de estudio, según dicho mapa y escala de trabajo, se encuentra aproximadamente, entre

las isohietas de 600 y 700 mm. Las líneas de igual precipitación poseen un rumbo noroeste – sureste atravesando todo el sudoeste de la provincia de Buenos Aires hasta el mar argentino (Figura 4.2.1).

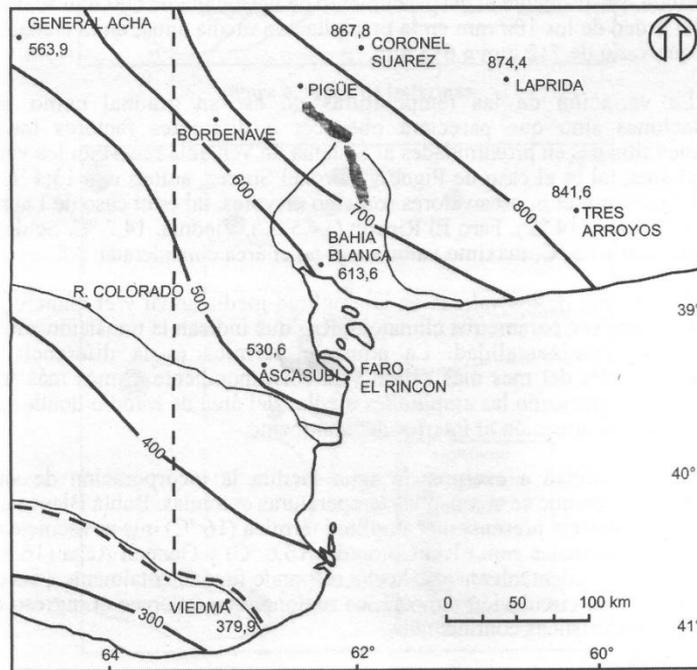


Figura 4.2.1: Mapa de isohietas del sudoeste bonaerense (Campo de Ferreas *et al.*, 2004)

Para el trazado de las curvas isohietas a un nivel de estudio más local, se consideraron los datos suministrados por el establecimiento rural El Palomar, ubicado a los 38° 56' 29,16" de latitud S y 61° 31' 44,10" de longitud O. Estos datos son los únicos registros pluviométricos continuos y completos temporalmente dentro del área del estudio y corresponden a mediciones de lluvia mensual durante 36 años (período 1982-2017). Además se procesaron datos de las localidades próximas y que han sido aportados por diferentes fuentes, a saber: Bahía Blanca (Servicio Meteorológico Nacional), Tres Arroyos (INTA) e Hilario Ascasubi (INTA) (Tabla 4.2.1).

Tabla 4.2.1: Datos de precipitación y períodos de tiempo de las estaciones utilizadas.

Estación meteorológica	Período	Precipitación media	Total de años
Estancia El Palomar	1982-2017	732 mm	36
Bahía Blanca	1956-2019	642 mm	64
Hilario Ascasubi	1967-2015	494 mm	49
Tres Arroyos (Barrow)	1960-2013	766 mm	54

La serie más completa corresponde a la brindada por el SMN para la localidad de Bahía Blanca, con 64 años continuos de medidas. Esta serie se toma como base o

estación tipo para realizar el análisis y contraste de las series de precipitación, a fin de detectar errores, comprobar la homogeneidad y la consistencia de los datos.

Este contraste se efectuó a través del método de "doble masa", el cual consiste en calcular, entre las estaciones seleccionadas, una recta de regresión para un mismo período de tiempo o régimen hidrológico (Figura 4.2.2).

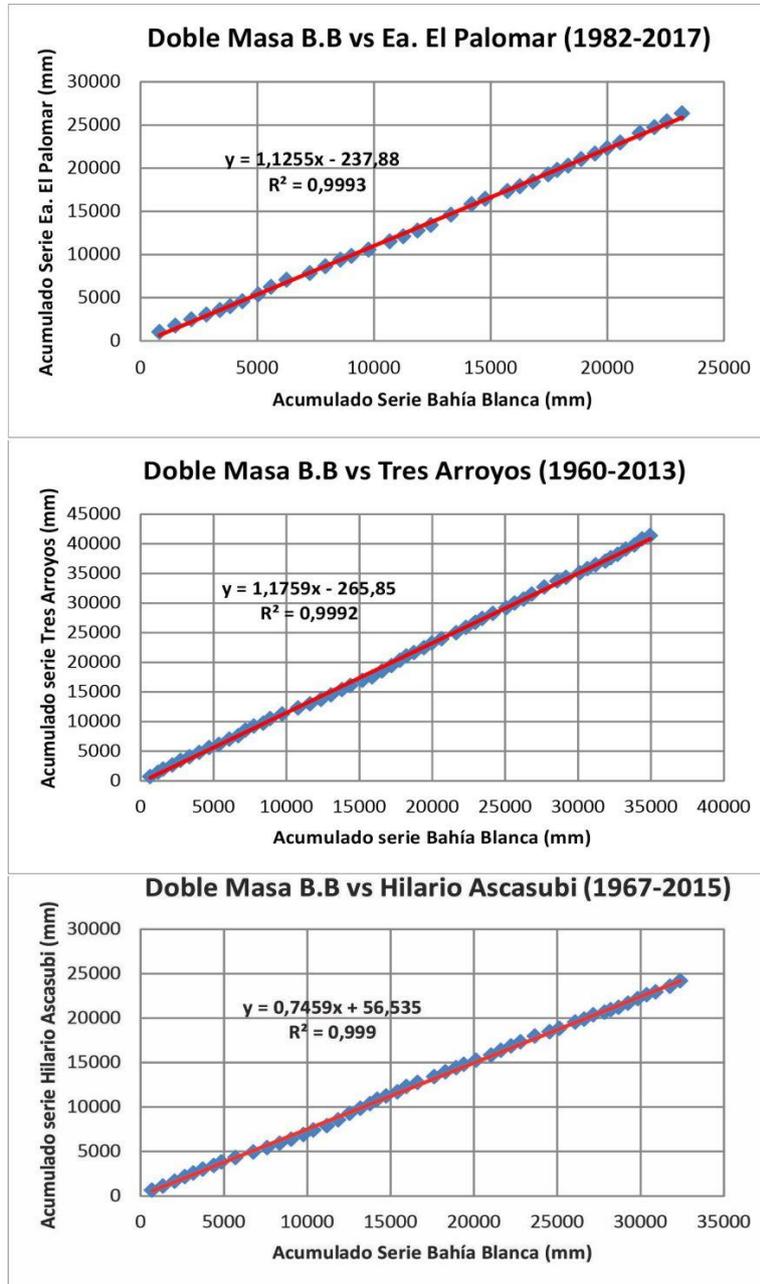


Figura 4.2.2: Análisis de doble masa entre las estaciones meteorológicas utilizadas. En rojo se observa la línea de tendencia.

Esta metodología, permitió observar una alta proporcionalidad entre los datos, con coeficientes de correlación (r) de 0,999 en todos los casos. Esto permite inferir la

ausencia de errores de medición u homogeneidad en las observaciones e indica una relación lineal entre las medidas de precipitación obtenidas por las estaciones.

El análisis de los módulos pluviométricos calculados para las distintas localidades de la zona y la elaboración del mapa de isoyetas para el período en común (1982-2013), corrobora un aumento de las precipitaciones de oeste a este en el sector costero (Figura 4.2.3).



Figura 4.2.3: Mapa de isohietas del área de estudio, período 1982-2013.

En el mapa se observa un desplazamiento o curvatura de las isohietas de oeste a este para el sector costero, lo que indica un aumento de las precipitaciones al aproximarse al límite continente – mar. Este comportamiento resulta lógico, teniendo en cuenta la evaporación en el mar, que es mayor a la generada tierra adentro, por lo cual, las lluvias debieran ser mayores en proximidades al sector litoral (Remenieras, 1974). Dicho desplazamiento no era distinguido en los mapas existentes debido a la falta de datos pluviométricos del sector costero.

Las grandes variaciones cíclicas húmedas y secas, se analizaron a partir de los módulos pluviométricos quinquenales del registro anual 1982-2017 de la Ea. El Palomar y para el período 1956-2019 de la estación Bahía Blanca, graficados en la Figura 4.2.4.

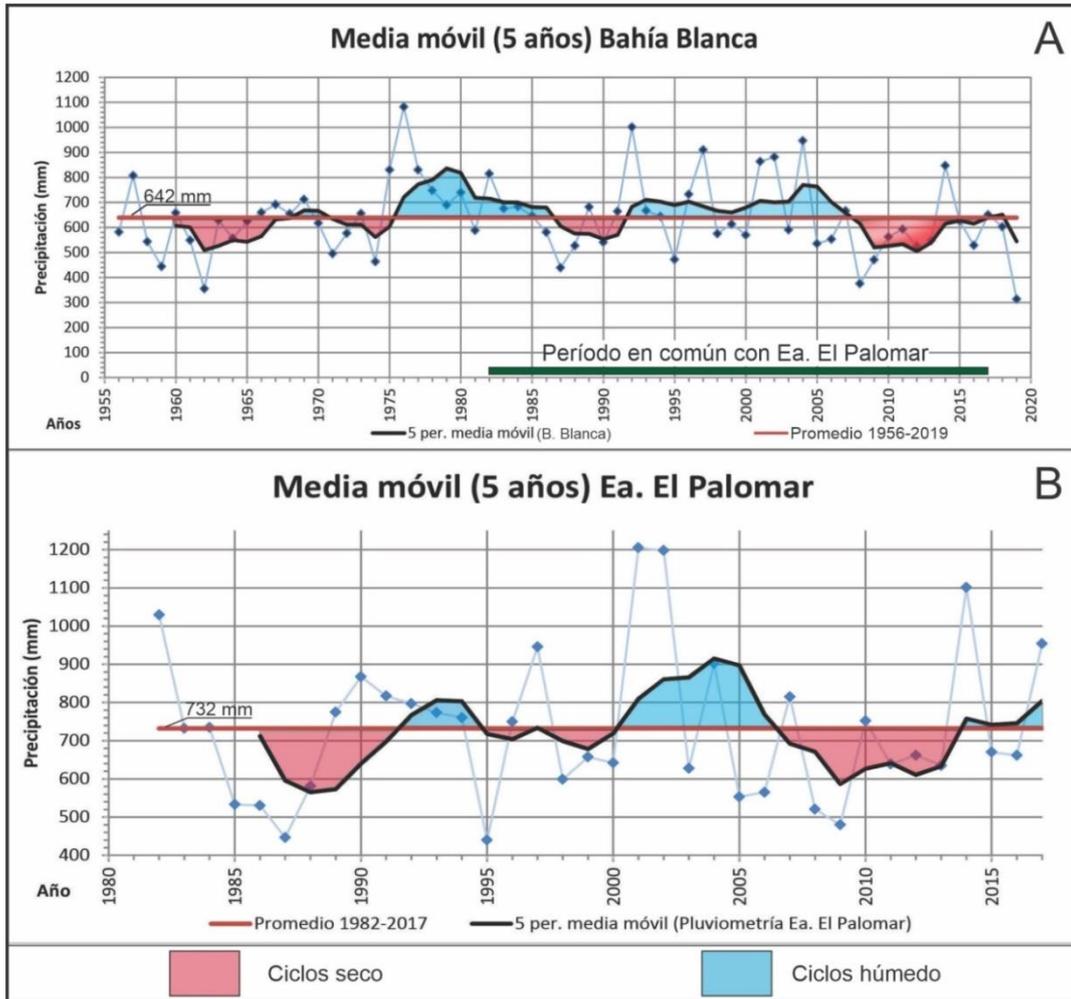


Figura 4.2.4: Análisis de las medias móviles quinquenales de precipitación. A) Análisis de la serie Bahía Blanca. B) Análisis de la serie Ea. El Palomar.

Para la serie Bahía Blanca (1956-2019) se distinguen siete ciclos en total, de los cuales cuatro corresponden a períodos secos (áreas rojas) y tres a períodos húmedos (áreas celestes). El último ciclo húmedo sucede durante el período 1992-2007, con un promedio de precipitaciones de 701 mm, siendo este ciclo el más extenso de la serie. A continuación del anterior, se inicia un ciclo seco el cual se extiende hasta la última lectura analizada, correspondiente al año 2019. Si bien se observa que a partir del año 2014 presenta una tendencia positiva, aproximándose al promedio de la serie, la media quinquenal para el año 2019 resulta menor a la media general (544 mm) influenciado por las precipitaciones de este último, considerado el año más seco de toda la serie.

Para el sector costero (Ea. El Palomar) el análisis de la serie 1982-2017 permite observar 6 ciclos pluviométricos, de los cuales el 50% corresponde a períodos secos y el otro 50% a períodos húmedos. El último ciclo seco corresponde al período

2007-2014, cuya precipitación media es de 643 mm, su inicio es coincidente con el último ciclo seco analizado en la serie Bahía Blanca. A partir del 2014 y hasta el 2017 (último año de la serie) se observa un ciclo húmedo, con una precipitación media de 847 mm.

Es posible observar que dentro de los ciclos secos existen años húmedos y viceversa, poniendo en evidencia la importancia de contar con este tipo de análisis a fin de no caer en falsas conclusiones climáticas en base a series cortas de años.

Para la Estancia El Palomar, el modulo pluviométrico anual es de 732 mm, con un máximo de 1.205 mm durante el año 2001 y un mínimo de 440 mm correspondiente al año 1995 (Figura 4.2.5).

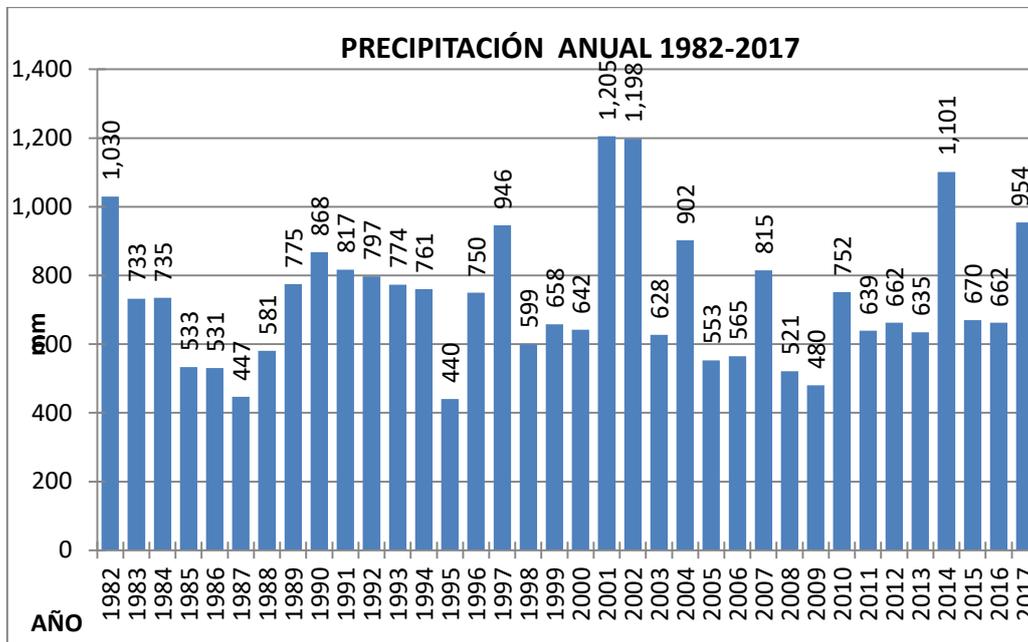


Figura 4.2.5: Precipitación anual para la Estancia El Palomar, serie 1982-2017.

En la Tabla 4.2.2 se indican los datos estadísticos de las precipitaciones en la Ea. El Palomar. El desvío estándar para la serie analizada es de 193,13 mm. El 51 % de los años analizados presentan un total superior a la precipitación media (años húmedos) y el restante 49 % se encuentra por debajo de la misma (años secos). El 64% de los años se encuentran dentro de un desvío estándar.

Tabla 4.2.2: Datos estadísticos de las precipitaciones en la Ea. El Palomar.

Tamaño de la Muestra	36 (para la población) y 35 (para la muestra)
Desviación Estándar de la Población	193,13 mm
Desviación Estándar de la Muestra	195,87 mm
Promedio	732,04 mm

La amplitud pluviométrica del sector queda evidenciada al analizar las anomalías de precipitación, entendiendo como anomalía la separación entre la precipitación medida y la normal o promedio del área. En la Figura 4.2.6 se grafican dichas anomalías para la serie 1982-2017, cuya máxima amplitud positiva supera los 400 mm, mientras que la máxima amplitud negativa no alcanza los 300 mm.

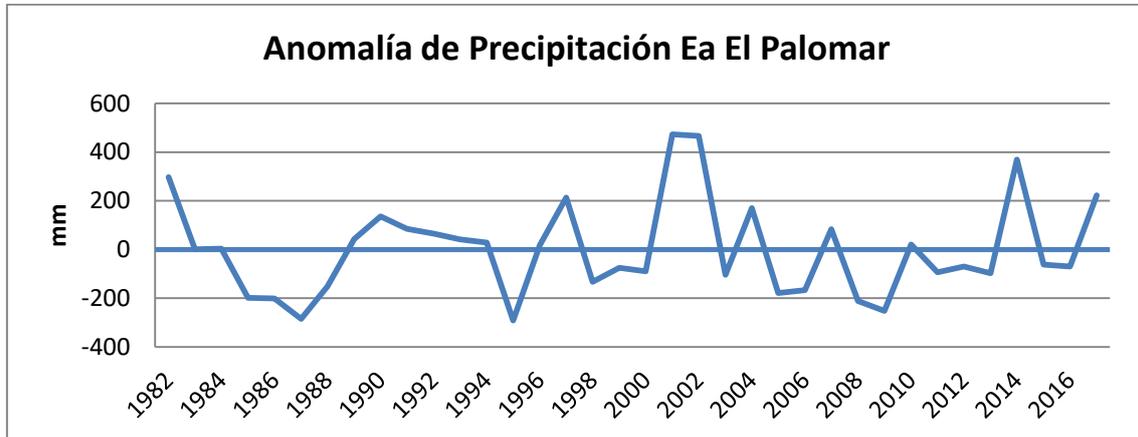


Figura 4.2.6: Anomalías de precipitaciones anuales en mm (1982-2017).

La frecuencia de eventos de precipitación, tomando intervalos de 100 mm (Tabla 4.2.3 y Figura 4.2.7) muestra que la mayor frecuencia se encuentra entre 600 mm y 700 mm y entre 700 mm y 800 mm, con 8 eventos para cada intervalo, representando el 44% de las precipitaciones del período analizado. Los totales anuales con valores entre 500 mm y 600 mm ocurrieron en 7 oportunidades, mientras que el resto de los intervalos muestran frecuencias de entre 3 y 1 episodios.

Tabla 4.2.3: Datos estadísticos de eventos de precipitación para la Estancia El Palomar.

<i>Intervalo</i>	<i>Frecuencia absoluta (fi)</i>	<i>Frecuencia relativa (pi)</i>	<i>Frecuencia acumulada relativa (Fi)</i>	<i>Frecuencia acumulada absoluta</i>
(300, 400]	0	0/36	0/36	0
(400, 500]	3	3/36	3/36	3
(500, 600]	7	7/36	10/36	10
(600, 700]	8	8/36	18/36	18
(700, 800]	8	8/36	26/36	26
(800, 900]	3	3/36	29/36	29
(900, 1000]	3	3/36	32/36	32
(1000, 1100]	1	1/36	33/36	33
1100, 1200]	2	2/36	35/36	35
(1200, 1300]	1	1/36	36/36	36
Total	36		36/36=1	

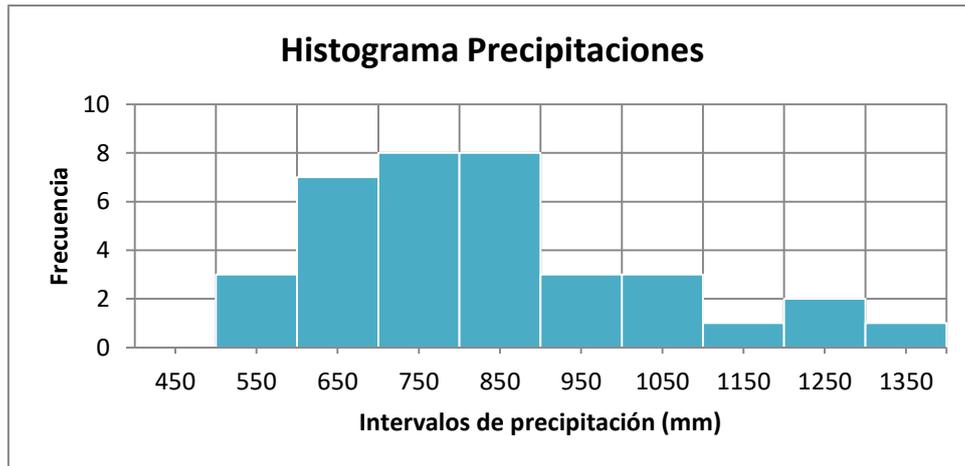


Figura 4.2.7: Histograma de frecuencia pluviométrica, Ea. El Palomar para la serie 1982-2017.

En el diagrama de barras de la Figura 4.2.8 se indica la distribución interanual o estacional de las precipitaciones. El mismo, permite observar que las estaciones lluviosas son el otoño (219 mm), primavera (199 mm) y verano (197 mm). El período con menores precipitaciones se registra durante los meses de invierno (118 mm).

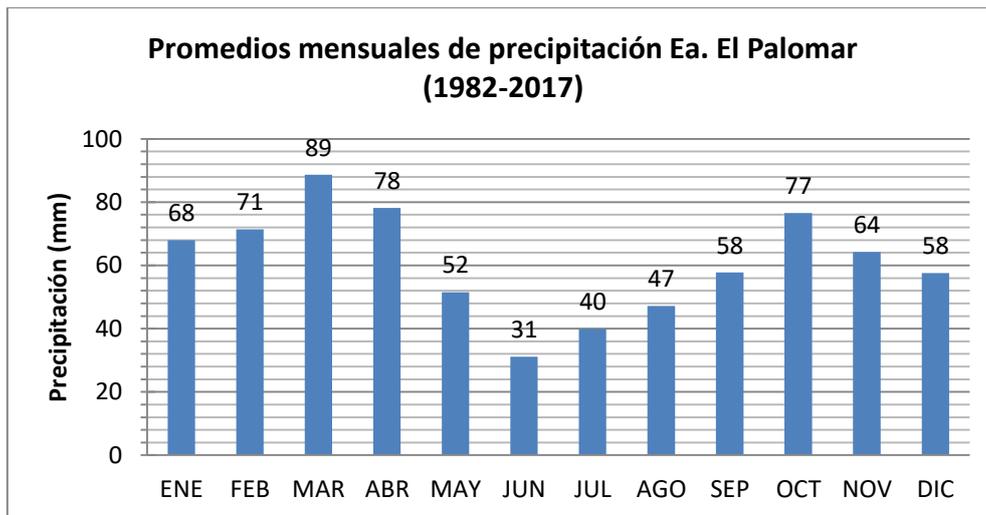


Figura 4.2.8: Promedios mensuales para la precipitación en la Estancia El Palomar, serie 1985-2017.

El máximo histórico mensual corresponde al mes de Abril del año 2001, con 331 mm (Tabla 4.2.4). Dicho dato contrasta notablemente con el año 2000, donde durante el mismo mes, la precipitación registrada fue nula.

Tabla 4.2.4: Promedios, máximos y mínimos mensuales 1982-2017 Ea. El Palomar.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Prom	68	71	89	78	52	31	40	47	58	77	64	58
Max	211	225	202	331	153	146	127,5	253	151	246	238	234
Min	7	6,5	8	0	0	0	0	0	0	6	7	0

Este contraste pone de manifiesto la elevada variabilidad pluviométrica del sector y las notables diferencias entre las precipitaciones mensuales en los años secos y húmedos (Figura. 4.2.9).

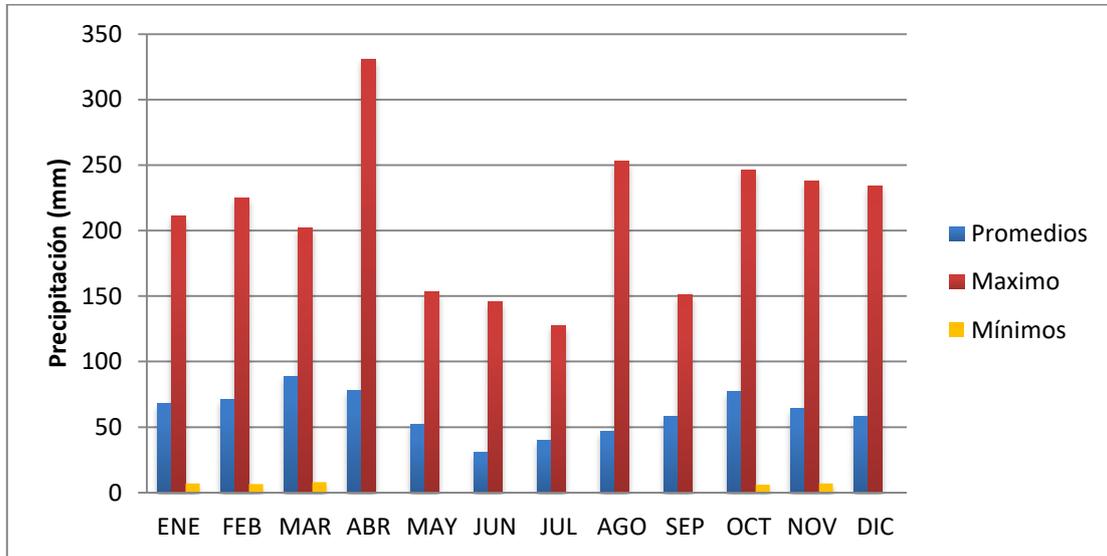


Figura. 4.2.9: Diagrama de barras. Valores mensuales máximos, medios y mínimos. Estancia El Palomar, serie 1985-2017.

Contrastando los promedios mensuales de la ciudad de Tres Arroyos, Bahía Blanca y la Ea. El Palomar, se observa que las tres estaciones poseen la misma tendencia estacional de distribución interanual de las precipitaciones (Figura 4.2.10).

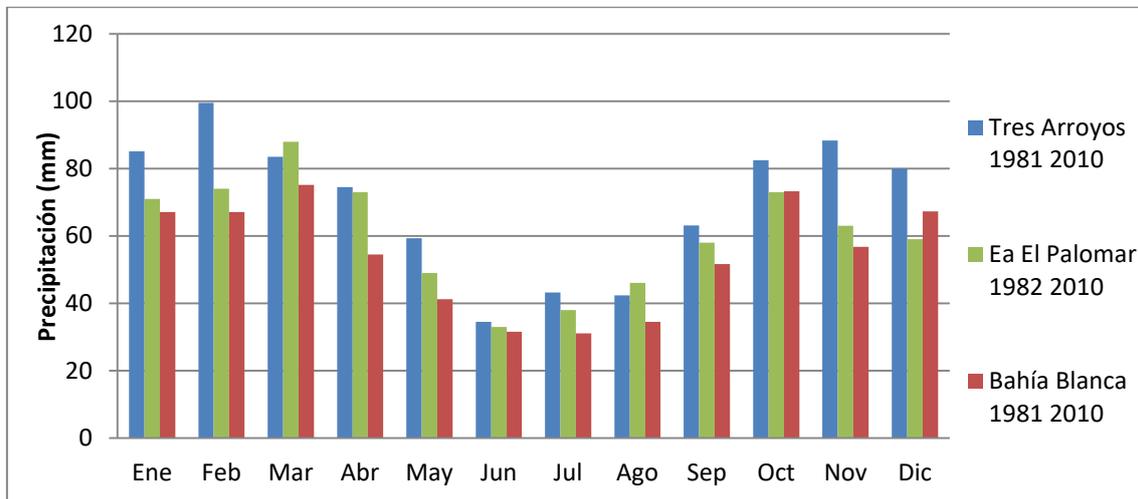


Figura 4.2.10: Medias mensuales para Tres Arroyos, Ea. El Palomar y Bahía Blanca.

4.3 Temperatura

El sudoeste bonaerense presenta una marcada variación de temperaturas según la época del año. Durante el verano las temperaturas pueden superar los 40 °C, con medias que rondan los 22°C mientras que los inviernos suelen ser crudos, con temperaturas promedio de 8°C y mínimas por debajo de 0°C, incluso se han registrado nevadas en la ciudad de Monte Hermoso, Coronel Dorrego y Bahía Blanca entre otras ciudades de la región (diario La Nueva Provincia, 2007).

Para el balneario Monte Hermoso se cuenta con una serie corta de registros mensuales de 4 años (2008 a 2011), realizada por Huamatinco Cisneros (2012). Estos datos han sido contrastados con los promedios térmicos mensuales calculados de las localidades de Bahía Blanca y Tres Arroyos para el periodo 1981-2010 (SMN), debido a que el área de estudio se encuentra entre estas dos últimas ciudades (Figura 4.3.1).

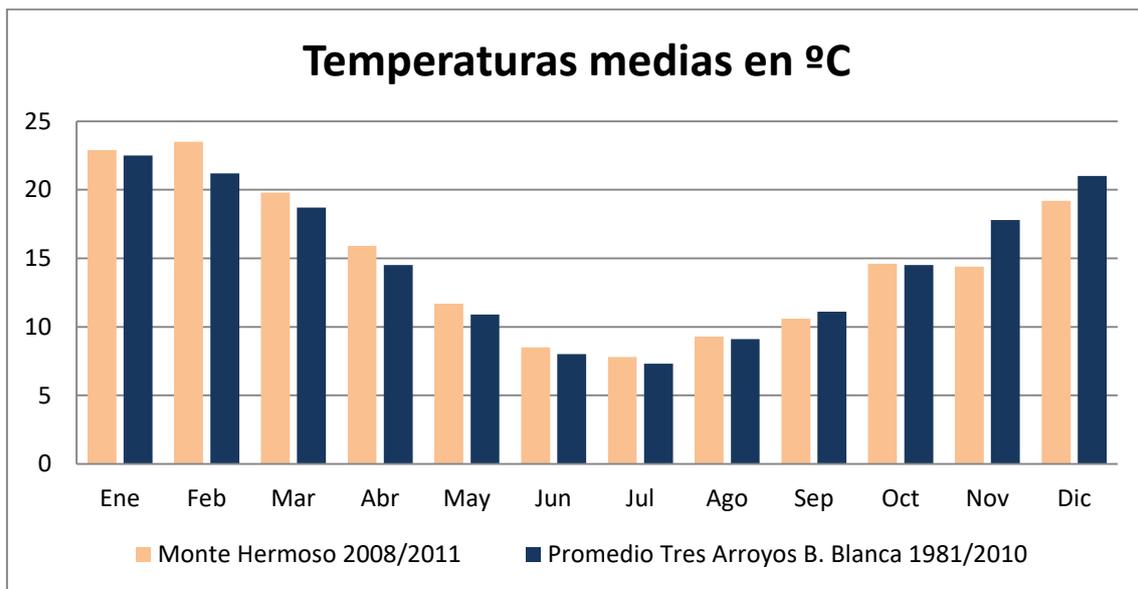


Figura 4.3.1: Temperatura media mensual en °C.

Se observa que las tendencias térmicas mensuales son análogas entre las ciudades de Monte Hermoso y el promedio entre Bahía Blanca y Tres Arroyos así como los valores de temperatura media mensual (Tabla 4.3.1). En virtud de la homogeneidad climática y la representatividad temporal de los registros se optó por considerar característico de las condiciones térmicas del área, los promedios obtenidos entre las ciudades próximas de Bahía Blanca y Tres Arroyos.

Tabla 4.3.1: Temperaturas medias mensuales y promedio (en °C).

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
Temperatura promedio (°C) Tres Arroyos Bahía (1981-2010)	22,5	21,2	18,7	14,5	10,9	8	7,3	9,1	11,1	14,5	17,8	21	14,71
Temperatura promedio (°C) Monte Hermoso (2008-2011)	22,9	23,5	19,8	15,9	11,7	8,5	7,8	9,3	10,6	14,6	14,4	19,2	14,85

A partir de lo anterior se puede concluir que la temperatura promedio del área de estudio es de 14,71 °C. El promedio de temperatura para la estación estival es de 21,5 °C mientras que durante el invierno la misma es de 8,1 °C, el otoño presenta un promedio de 14,7°C y la primavera de 14,4 °C.

4.4 Vientos

La ubicación de los centros ciclónicos y anticiclónicos durante el año da origen a los distintos vientos que circulan por el sudoeste bonaerense. El análisis de vientos realizado por Campo de Ferreas *et al.* (2004) sobre una serie de datos que comprende los años 1971-1990, indica que el sudoeste bonaerense, al sur del sistema de Ventania, es dominado por vientos del cuadrante norte. El análisis estacional de vientos realizado para la ciudad de Bahía Blanca indica un claro predominio del viento norte durante las cuatro estaciones del año, seguido en frecuencia por vientos provenientes del noroeste y en menor medida del este-sudeste.

Para el sector costero los vientos dominantes son terrestres, de dirección norte, noreste y noroeste. Subordinados se encuentran los provenientes del sector sur, suroeste y sureste, mientras que los vientos paralelos a la costa (E-O) son los menos frecuentes (Caló *et al.*, 2014).

El mal clima en el sector costero se encuentra íntimamente relacionado a los vientos provenientes de los sectores sur, sureste y suroeste, ya que los mismos son de mayor intensidad que los provenientes del cuadrantes norte y generan grandes olas que afectan el área costera. Dentro de estos últimos, se destacan por su intensidad los provenientes del sudoeste. Si bien no son tan frecuentes como las sudestadas, las "sudestadas" son mucho más potentes, generando grandes destrozos en el sector costero (Caló *et al.*, 2014).

4.5 Evapotranspiración

La evapotranspiración (ET) se define como el proceso por el cual el agua en estado líquido pasa a estado gaseoso, desde el suelo por evaporación y desde las plantas por transpiración, hacia la atmósfera (Custodio y Llamas, 1976).

Thorntwaite (1948) introduce el término evapotranspiración potencial (ETP), el cual hace mención a la máxima cantidad de agua que podrá evaporar un suelo y transpirar las plantas en condiciones ideales (suelo a capacidad de campo de manera permanente y cubierta vegetal de desarrollo óptimo). Como se sabe, dichas condiciones no siempre se cumplen, por lo cual se ha definido la evapotranspiración real (ETR), que expresa la cantidad de agua que realmente vuelve a la atmósfera por evaporación y transpiración bajo las condiciones de campo.

En este ítem se cuantifica la evapotranspiración en base a formulaciones empíricas ampliamente difundidas y aceptadas.

4.5.1 Cálculo de la ETP

- *Fórmula de Thornthwaite (1948)*

Dicha fórmula utiliza un índice de calor mensual (i) calculado a partir de las temperaturas medias diarias (t).

$$i = (t/5)^{1.514} \quad (4.5.1.1)$$

En base al índice de calor mensual para los doce meses de año, se calcula el índice de calor anual (I), suponiendo meses de 30 días y 12 horas de exposición solar.

$$I = \sum i \quad (4.5.1.2)$$

Utilizando lo anterior se calcula la evapotranspiración potencial media en mm/día como:

$$\varepsilon = 16(10t/I)^a \quad (4.5.1.3)$$

Dónde:

ε = Evapotranspiración potencial media en mm/día sin corregir.

t = Temperatura media diaria del mes en °C.

I = Índice de calor anual (fórmula 4.2)

$$a = (675 * 10^{-9} * I^3) - (771 * 10^{-7} * I^2) + (1972 * 10^{-5} * I) + 0,49239$$

El valor calculado en la fórmula 4.3 debe ser corregido, teniendo en cuenta las horas de luz según la latitud del área de estudio y la duración real del mes de la siguiente manera:

$$ETP = K * \varepsilon$$

Siendo: $K = (N/12) * (d/30) * d$

Dónde:

N = Número máximo de horas de sol

d = Número de días del mes

Utilizando los datos de temperatura ya expuestos en este capítulo (Tabla 4.3.1) y las fórmulas anteriormente mencionadas es posible calcular la ETP para el área de estudio (Tabla 4.5.1.1).

Tabla 4.5.1.1: Cálculo de ETP utilizando la fórmula de Thornthwaite.

Mes	t (°C)	i	ε (mm/día)	ε (mm/mes)	ETP (mm/mes)
Enero	22,50	9,75	3,50	108,50	135,62
Febrero	21,20	8,91	3,30	92,40	97,02
Marzo	18,70	7,37	2,60	80,60	86,24
Abril	14,50	5,01	1,80	54	50,22
Mayo	10,90	3,25	1,20	37,20	32,36
Junio	8,70	2,31	0,80	24	19,2
Julio	7,30	1,77	0,70	21,70	18,44
Agosto	9,10	2,48	0,90	27,90	25,94
Septiembre	11,10	3,34	1,20	36	36
Octubre	14,50	5,01	1,80	55,80	63,61
Noviembre	17,80	6,84	2,50	75	89,25
Diciembre	21	8,78	3,20	99,20	125,98
Total = 779,88 mm/año					

De esta manera puede cuantificarse la **ETP en 779,88 mm/año**.

- *Fórmula de Hargreaves - Samani*

El método de Hargreaves - Samani para el cálculo de la evapotranspiración potencial (Hargreaves y Samani, 1985), se basa en datos de temperaturas y radiación solar incidente. La ventaja de esta metodología sobre otras más complejas es la fácil

obtención de los datos necesarios, en casi todas las centrales o estaciones meteorológicas. Los valores de radiación solar incidente, dependientes de la latitud del sector a analizar, se encuentran tabulados (Allen *et al.*, 1998).

En su expresión simplificada, se consideran ciertos parámetros de rango variable, como constantes resultando en la siguiente expresión (Allen *et al.*, 1998):

$$ETP = 0,0023 (t_{med} + 17,78) R_0 * (t_{max} - t_{min})^{0,5}$$

Dónde:

ETP = evapotranspiración potencial diaria, mm/día

t_{med} = temperatura media diaria (°C)

t_{max} = temperatura diaria máxima (°C)

t_{min} = temperatura diaria mínima (°C)

R_0 = Radiación solar extraterrestre, en mm/día (tabulada)

Serio *et al.* (2019) utilizando datos de temperatura de la República Argentina, para el período 1960-2010 y aplicando la fórmula de Hargraves-Samani, realizaron un mapa de evapotranspiración potencial a nivel nacional (Figura 4.5.1.1). En el mismo es posible observar que el área de estudio queda comprendida entre las isocías de 1300 y 1200 mm/año.

La expresión simplificada se considera funcional para la mayoría de los casos, sin embargo puede ser calibrada junto con otras metodologías para ajustar su resultado a las características del área analizada.

Almorox *et al.* (2012) realizaron la calibración de esta fórmula para el sector de Coronel Dorrego y zonas limítrofes (el área de estudio se encuentra a 25 km de Coronel Dorrego), permitiendo obtener un valor ajustado de la ETP para el sector de estudio.

A partir de datos meteorológicos suministrados por el INTA para Coronel Dorrego y utilizando la fórmula de Hargreaves-Samani modificada para el sector, Almorox *et al.* (2012) consiguieron una correlación del 99% en relación con los resultados obtenidos utilizando la metodología de Penman Monteith. De esta manera y ante la falta de los datos meteorológicos para aplicar esta última metodología, se aconseja utilizar la siguiente fórmula modificada para el sector de estudio:

$$ETP = 0,00206 (tmed + 17,78) R0 * (tmax - tmin)^{0,49}$$

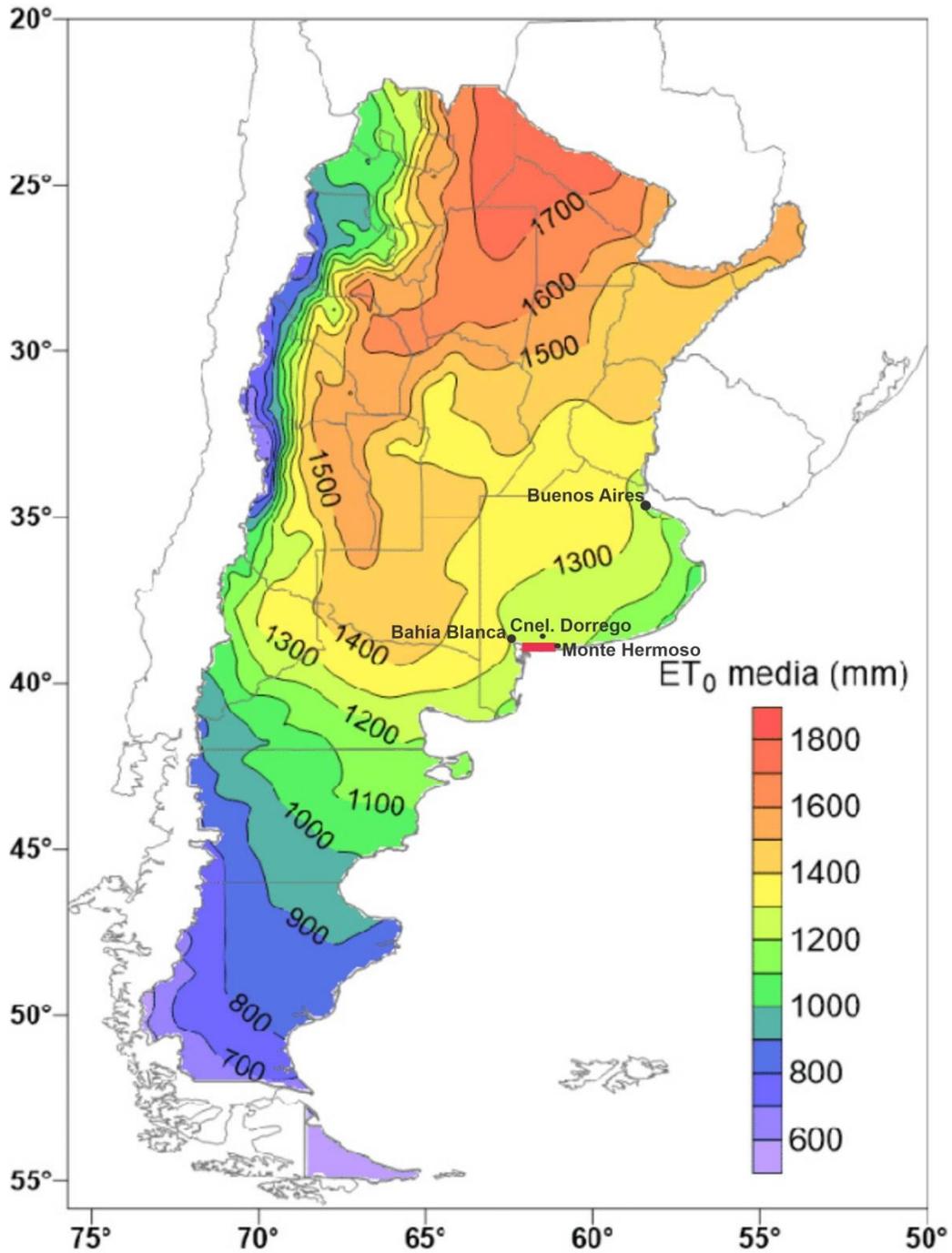


Figura: 4.5.1.1: Mapa de ETP para la República Argentina. El recuadro rojo indica en área de estudio. Modificado de Serio *et al.* (2019).

Para la aplicación de la misma se utilizaron las temperaturas promedio entre Bahía Blanca y Tres Arroyos para el período 1981-2010 del SMN, llegando a los resultados expuestos en la tabla 4.5.1.2.

Tabla 4.5.1.2: Calculo de la ETP a partir de la fórmula de Hargreaves modificada para el área de estudio.

Aplicación de la fórmula de Hargreaves modificada para Coronel Dorrego							
<i>Mes</i>	<i>Días</i>	<i>T med (°C)</i>	<i>T max (°C)</i>	<i>T min (°C)</i>	<i>RO (mm/día)</i>	<i>ETP mm/día</i>	<i>ETP mm/mes</i>
<i>Enero</i>	31	22,5	30,2	15,7	17,7	5,45	168,80
<i>Febrero</i>	28	21,2	28,65	14,85	15,7	4,56	127,73
<i>Marzo</i>	31	18,7	25,85	13,15	12,9	3,37	104,41
<i>Abril</i>	30	14,5	21,2	9,2	9,5	2,13	64,04
<i>Mayo</i>	31	10,9	16,95	6,15	6,9	1,31	40,55
<i>Junio</i>	30	8	13,6	3,55	5,7	0,94	28,13
<i>Julio</i>	31	7,3	13,1	2,7	6,2	1,01	31,28
<i>Agosto</i>	31	9,1	15,6	3,95	8,2	1,51	46,88
<i>Septiembre</i>	30	11,1	17,75	5,5	11,4	2,32	69,45
<i>Octubre</i>	31	14,5	21,2	8,35	14,6	3,39	105,17
<i>Noviembre</i>	30	17,8	24,85	11,1	17,1	4,53	135,82
<i>Diciembre</i>	31	21	28,35	13,85	18,2	5,39	167,10
						ETP mm/año	1089,36

De esta manera es posible apreciar que, la ETP calculada mediante la fórmula de Hargreaves-Samani, modificada para Coronel Dorrego (1089,36 mm/año) es levemente inferior a la obtenida por Serio *et al.* (2019) utilizando la fórmula general.

- *Medida directa de la evaporación física con tanque Tipo A*

La evaporación física ha sido medida en el pueblo de Argerich, a 50 km al oeste de la ciudad de Punta Alta (límite oeste del área de estudio) durante 19 años, para el período 1946 a 1965 (CORFO – Río Colorado, 1966). La instalación utilizada consistió en tanques tipo "A", de 1,22 m de diámetro y una sección evaporante de 1,16 m². En ellos se realizaron medidas diarias de evaporación mediante lecturas con tornillo milimétrico. Los valores mensuales obtenidos fueron reducidos, aplicando un coeficiente de 0,7 con el fin de obtener la evaporación equivalente en un cuerpo de agua (1120 mm/año) y luego aplicando los coeficientes reductores (f) de Penman según el mes del año para obtener la ETP (Tabla 4.5.1.3).

Tabla 4.5.1.3: Evapotranspiración potencial mensual correspondiente a la localidad de Argerich (1946-1965), Tanque tipo A (CORFO-Río colorado, 1966).

Meses	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
ETP (mm)	161	119	86	51	25	16	19	31	50	77	124	149	908

De lo anterior se desprende un valor de ETP de **908 mm/año**.

A partir de los cálculos realizados, la ETP para el área se estima entre un máximo de 1089,36 mm/año y un mínimo de 779,88 mm/año, encontrándose un valor intermedio de 908 mm/año correspondiente a la localidad de Argerich.

4.5.2 Cálculo de la ETR

- *Método de Turc*

La fórmula propuesta por Turc proviene de experiencias realizadas en más de doscientas ciudades en el mundo (Custodio y Llamas 1976), en ella calcula la ETR a partir de datos de precipitación y temperatura de la siguiente manera:

$$ETR = P / \sqrt{(0,9 + (P^2/L^2))}$$

Dónde:

P = Precipitación media anual del área a estudiar en mm / año.

L = $300 + 25 t + 0,05 t^3$, siendo t la temperatura media anual en °C.

De esta manera y tomando los valores de precipitación media anual de la Ea El Palomar (732 mm/año) y la temperatura media anual del promedio Bahía Blanca – Tres Arroyos (14,71 °C) se llega a un valor de **ETR de 564 mm/año**.

- *Método de Coutagne*

Coutagne propone el cálculo de la ETR a partir de la precipitación media anual en m / año (P), utilizando a su vez un factor λ que contempla la temperatura media anual para el sitio de estudio (t) (Custodio y Llamas 1976).

$$ETR = P - \lambda P^2$$

Dónde:

$$\lambda = 1 / (0,8 + 0,14 * t)$$

Esta fórmula es válida para valores de P (m/año) comprendidos entre $1 / (8 * \lambda)$ y $1 / (2 * \lambda)$.

Dada una t = 14,71 °C, resulta $\lambda = 0,35$.

La P (m/año) debe tener un valor comprendido entre 0,357 y 1,42 y dado que P = 0,732 m/año el método es aplicable.

De esta manera la **ETR calculada es de 544 mm/año**.

- *Balance de agua en el suelo*

Otra metodología para el cálculo de la ETR es el balance de agua en el suelo (Thornthwaite y Mather 1957). Consiste en tomar el suelo como un medio que almacena y cede agua según su capacidad de campo y los requerimientos del sistema natural, condicionados por la evapotranspiración potencial.

De esta manera, conociendo la ETP junto con las precipitaciones y la capacidad de campo del suelo se pueden calcular salidas (ETR y excesos) del sistema para un período determinado.

El balance de agua en suelo se efectuó utilizando la ETP calculada con la fórmula de Thornthwaite (1948), las precipitaciones mensuales promedio de la Ea. El Palomar, una reserva de agua en el suelo inicial cero, un suelo de textura arenosa con una capacidad de retención de hasta 24 mm, en base a una profundidad radicular media de 30 cm y a una retención específica de la arena de 8% (Geological Survey Water-Supply Paper 1839 D, 1967; Sánchez *et al.*, 1998) Tabla 4.5.1.4.

Tabla 4.5.1.4: Balance de agua en el suelo de paso mensual.

(mm)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	SUM
P	68	71	89	78	52	31	40	47	58	77	64	58	733
ETP	135,6	97,02	86,24	50,22	32,36	19,2	18,44	25,94	36	63,61	89,25	126	780
R	0	0	2,76	24	24	24	24	24	24	24	0	0	-
ΔR	0	0	2,76	21,24	0	0	0	0	0	0	-24	0	-
Ex	0	0	0	6,54	19,64	11,8	24,56	21,06	22	13,39	0	0	119
D	67,6	26,02	0	0	0	0	0	0	0	0	1,25	68	162,9
ETR	68	71	86,24	50,22	32,36	19,2	18,44	25,94	36	68,61	88	58	622

La metodología aplicada permite calcular un valor de **ETR de 622 mm/año**.

Analizando el balance de agua en el suelo, se observa que los períodos con excesos corresponden a los meses de Abril, Mayo, Junio, Julio, Agosto, Septiembre y octubre. En el mes de Abril el perfil de suelo se encuentra en capacidad de campo, mientras que durante Noviembre la reserva de agua en el suelo es evapotranspirada. Los meses de Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero presentan déficit hídrico.

El balance de agua en el suelo a paso mensual en zonas áridas y semi-áridas tiende a subestimar los excesos hídricos. La rápida infiltración y el nulo o escaso escurrimiento superficial en zonas medanosas bajo estos regímenes climáticos,

generan que la metodología aplicada a paso mensual sea poco precisa (Carrica *et al.*, 2018), por lo que el valor de ETR calculado es solo en carácter estimativo.

De esta manera es posible observar que la evapotranspiración real calculada por la metodología de Turc y Coutagne representa el 77 y 74 % de las precipitaciones, mientras que el valor calculado mediante el balance de agua en el suelo a paso mensual representa el 85%. Dichos datos permiten concluir que la evapotranspiración representa la mayor salida de agua del sistema. Sin embargo estos valores dan lugar a un exceso hídrico de entre 26 y 15% de la precipitación anual.

4.6 Referencias bibliográficas

- Allen, R.G.; L. S. Pereira; D. Raes y Smith, M. (1998).- Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56.
- Almorox J.; Aguirre M.; Elisei V. y Commegna M. (2012): Calibración del modelo de Hargreaves para la estimación de la evapotranspiración de referencia en Coronel Dorrego, Argentina. Universidad Nacional de Cuyo, Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, 44:101:109.
- Campo de Ferreas, A. M.; Capelli de Steffens, A. M. y Diez, P. A. (2004). El clima del suroeste bonaerense. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo.
- Caló, J.; Caputo, R.; Di Martino, C y Marcos, A. (2014). Protección invisible de un edificio sobre la duna frontal en la playa de Pehuen-co, provincia de Buenos Aires. Revista de geología aplicada a la ingeniería y al ambiente. Nº 33, 25-32, ISSN 1851-7838.
- Carrica J.; Lexow C.; Ruffo A., G. y Albouy R. (2018). La importancia hidrogeológica de los cordones medanosos del sudoeste bonaerense de la provincia de Buenos Aires, Argentina. "XIV Congreso Latinoamericano de Hidrogeología, X Congreso Argentino de hidrogeología, VIII Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea". E-Book: El Agua Subterránea: Recurso sin Fronteras: Interacción Agua Superficial Agua Subterránea. Rodolfo García, Eduardo Castro, Pablo Dornes, Eduardo Kruse, Federico Moya Ruiz y Jorge W. García Editores. Salta 2018. ISBN 978-987-633-536-2. 99-106.
- Custodio y Llamas. (1976). Hidrología Subterránea, Ediciones Omega, Barcelona. ISBN 84-282-0446-2

- CORFO-RÍO COLORADO. (1966). Estudio técnico económico y social del valle bonaerense Río Colorado. Provincia de Buenos Aires, Ministerio de Economía. Edison Consult. S.A.
- Diario La Nueva Provincia. (2007). <https://www.lanueva.com/nota/2007-5-29-9-0-0-inesperada-nevada-en-dorrego-monte-tres-arroyos-y-las-sierras>
- FAO. (2008). FAO Water. Databases: Cropwat Decision Support System. http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html. 22-11-2008
- Geological Survey Water-Supply Paper 1839 D. (1967). Summary of hydrologic and physical properties of rock and soil materials, as analyzed by the Hydrologic Laboratory of the U.S. Geological Survey.
- Hargreaves, G.H & Samani, Z.A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Eng. in Agric., 1(2): 96-99.
- Huamantínco Cisneros, M. A. (2012). Efecto de la variabilidad climática del balneario monte hermoso sobre su geomorfología costera y el confort climático. Tesis doctoral, inédita. Disponible en [http://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/123456789/2242/1/Tesis%20MAHC isneros.pdf](http://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/123456789/2242/1/Tesis%20MAHC%20isneros.pdf)
- INTA. (2018). [Sistema de Información y Gestión Agrometeorológica. Sitio Web](http://siga2.inta.gov.ar/#/) <http://siga2.inta.gov.ar/#/>. Último acceso 22/06/2020.
- Remenieras, G. (1974). Tratado de hidrología aplicada. Editores Técnicos Asociados, Barcelona, España. 514 pp.
- Sánchez, R.; Pezzola, N. y Cepeda, J. (1998). Caracterización edafoclimática del área de influencia del INTA E.E.A. Hilario Ascasubi, Partidos de Villarino y Patagones, provincia de Buenos Aires. Boletín de divulgación N° 18. INTA Hilario Ascasubi. 72 pp. (Inédito).
- Serio, L.; M. Antelo and S. M. F. Zalazar. (2019). Hargreaves evapotranspiration in Argentina with high-resolution gridded data. RADA X: 15-23
- Servicio Meteorológico Nacional, Estadísticas climatológicas normales del período 1981-2010. <https://datos.gob.ar/dataset/smn-estadisticas-climaticas-normales>.
- Thornthwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. Geologic. Rev. Vol. 38. 55-94. En Custodio y Llamas. (1976). Hidrología Subterránea, Ediciones Omega, Barcelona. ISBN 84-282-0446-2. 323-324.

Thornthwaite, C. W. y Mather. J. (1955). Instrucciones y tablas para el cómputo de la evapotranspiración potencial y el balance hídrico. INTA, Instituto de suelos y agroecología. Volumen interno N° 46 (1967). Buenos Aires.

Zotelo, C. (2011). Variabilidad climática y ciclos naturales. Boletín electrónico CONICET – CCT Bahía Blanca en https://bahiablanca.conicet.gov.ar/boletin/boletin29/indexee27.html?option=com_content&view=article&id=1718&Itemid=1031

Capítulo 5

GEOLOGÍA

5.1 Geología Regional

La zona de estudio se ubica en el borde noreste de la región morfoestructural denominada Cuenca del Colorado, cuya extensión es de aproximadamente 126.000 km², encontrándose sus $\frac{3}{4}$ partes dentro de la plataforma continental. Limita al norte y al sur con sectores de fallas de rumbo este-oeste. Sus bordes norte y sur coinciden con las Sierras Australes y el Macizo norpatagónico respectivamente. Hacia el este la cuenca se extiende hasta el límite del talud continental mientras que al Oeste se produce un progresivo acuñaamiento de las secuencias sedimentarias (Figura 5.1.1) (Zambrano, 1980).



Figura 5.1.1: Cuenca del Colorado.

El actual margen continental sudamericano es el resultado de distintos acontecimientos tectónicos los cuales provocaron, entre otras cosas, la ruptura del antiguo continente de Gondwana. Durante el Mesozoico y el Cenozoico el margen occidental de Gondwana se vio sometido a esfuerzos que lo llevaron a su ruptura y

posterior deriva de las placas sudamericana y africana, formando así el Océano Atlántico. Su génesis estuvo relacionada con puntos triples, los cuales prosperaron en dos de sus direcciones, abortando la tercera (aulacógeno). Esto provocó una serie de cuencas con rumbo noroeste-sureste sobre el actual margen pasivo argentino, las cuales evolucionaron desde una fase de rift hasta su posterior abandono. Entre este grupo de cuencas atlánticas se encuentra la del Colorado (Zambrano, 1972; Autin *et al.*, 2013; Pangaro, 2013).

5.1.1 Estratigrafía

La cuenca ha sido motivo de estudio para varios autores (Kaasschieter, 1965; Rolleri, 1975; Yrigoyen, 1975; Lesta *et al.*, 1978; Zambrano, 1972, 1974, 1980; Bonorino, 1988; Pangaro, 2013; Autin *et al.*, 2013 entre otros). En este apartado se expondrá un resumen de la geología general de la cuenca, en base a los trabajos de los autores anteriormente nombrados. Luego se realizará una descripción más detallada de la cobertura neógena, dado que estos depósitos son los de mayor interés para este estudio. Los depósitos cenozoicos cubren la secuencia de afloramientos mesozoicos, limitando el conocimiento de la cuenca a datos de perforaciones y registros sísmicos realizados tanto para prospección de aguas subterráneas como de hidrocarburos.

El basamento de la cuenca se encuentra formado por granitoides y metamorfitas de edad precámbrica a triásica, relacionadas con la apertura del Océano Atlántico y al sistema de las Sierras Australes (Zambrano, 1980).

Durante la etapa de rift, en el Cretácico superior, el área se presentaba como una llanura aluvial. Posiblemente parte de la misma se encontraba inundada, coexistiendo con sectores lagunares. En este ambiente se produce la depositación de arenas cuarzosas, intercaladas con arcilla y limos micáceos en discordancia sobre el basamento. Estos depósitos corresponden a la Formación Fortín (Zambrano, 1974).

Continuando con la evolución y en una etapa de post-rift, entre el Turoniano y el Campaniano, la cuenca recibe aportes ígneos. Se produce la depositación en llanuras aluviales de arenas gruesas de carácter tobáceo y feldespático, intercalando con niveles de conglomerados. Las areniscas basales presentan una coloración rojiza, cambiando esta característica hacia el techo de los depósitos, donde las mismas presentan tonalidades grisáceas indicando un cambio en el ambiente reductor. Los depósitos corresponden a la Formación Colorado (Bonorino, 1988).

Hacia el Maastrichtiano y hasta el Daniano (Paleoceno) la cuenca sufre un profundo cambio. Debido a las variaciones del nivel eustático se produce una ingresión marina, configurando el área como una costa poco profunda. Evidencia de ello son los depósitos de calizas arcillosas y arenosas, las cuales son cubiertas por lutitas y arcillitas con elevada reacción calcárea. Los depósitos anteriormente mencionados se agrupan en la Formación Pedro Luro (Zambrano, 1974; Gebhard, 2005).

El Cenozoico se caracterizó por recurrentes variaciones climáticas, combinando periodos glaciares e interglaciares en lapsos relativamente cortos de tiempo. Esto provocó reiterados cambios en el nivel eustático, modificando así la línea de costa en repetidas oportunidades (Benedetto, 2010).

El área que durante parte del Paleoceno fue una costa marina poco profunda pasa, en el Eoceno-Oligoceno, a ser una llanura aluvial. Dicha llanura es surcada por arroyos o ríos, los cuales traen consigo sedimentos provenientes del sistema de las Sierras Australes. Los depósitos en esta llanura aluvial consistieron en arcillitas yesíferas y tobas de tonalidades rosadas, las cuales se intercalan con areniscas de similares colores. Dichos depósitos conforman la Formación Ombucta. Cabe destacar en el sector suroeste de la cuenca la presencia de areniscas grises a verdosas, glauconíticas de carácter epinerítico. Dichas areniscas pertenecen a la Formación Elvira, la cual sería concordante con la Formación Ombucta. (Zambrano, 1974; Bonorino, 1988).

Durante el Mioceno, aproximadamente hace 12 Ma, se generó una gran transgresión marina, conocida localmente como el "Mioceno Verde", mar Paranaense o Entrerriense, entre otros nombres. Durante ese evento las aguas habrían ascendido hasta 150 m respecto del nivel actual (Benedetto, 2010). Gran parte del continente se ve cubierto por agua, lo que generó la depositación de potentes espesores de arcillas y arcillitas arenosas de coloraciones verdosas, yesíferas, en ocasiones conteniendo glauconita. Estos depósitos se conocen como Formación Barranca Final (Zambrano, 1980; Gebhard, 2005).

Para el Mioceno tardío se registran depósitos de llanuras aluviales, compuestos por limos arcillosos y arenosos de coloraciones pardas rojizas, con reacción calcárea, yeso e intercalaciones de arenas y conglomerados correspondientes a la Formación Chasicó y equivalentes (Bonorino, 1988).

5.2 Neógeno del área de estudio y las edades mamífero

Una de las características de las rocas y sedimentos que componen parte del registro estratigráfico neógeno, en el área costera bonaerense, es la homogeneidad litológica que poseen. Gran parte de los afloramientos presentan discretas diferencias que a simple vista no son apreciables, como ser: mayor contenido de carbonatos, diferencias sutiles de coloración, mayores o menores contenidos en la fracción arena, limo o arcilla, entre otras cosas. Estas características no son suficientes, *a priori*, para diferenciar unidades litoestratigráficas *sensu stricto*. Lo que sí diferencia los distintos niveles es su riqueza y composición fosilífera.

Durante el siglo XIX los hermanos Ameghino, basándose en el contenido paleontológico y en sus características litológicas identificaron una serie de "pisos" o conjuntos de rocas que presentaban similares faunas fósiles, las cuales caracterizaban un periodo de tiempo determinado. Estos "pisos" conocidos como Montehermosense, Ensenadense, Lujanense, etc. fueron el puntapié para definir las edades mamífero sudamericanas. Este tipo de unidades, muy útiles para realizar correlaciones, no se encuentran contempladas en el Código Estratigráfico Argentino (CEA). Sumado a que varios autores imponen distintos nombres formacionales a depósitos que podrían ser de similares características, pero no se encuentran en su área de estudio (si en las adyacencias) o sin respetar el CEA nombran como formaciones a conjuntos de sedimentos y no a rocas, o utilizando el termino Formación y Piso indistintamente, generando una gran confusión en lo que a geología del cuaternario respecta (Pascual *et al.*, 1965).

La dinámica evolución de los sectores costeros, influenciados por cursos fluviales migratorios, ha generado depósitos con importantes variaciones laterales. Dichos depósitos suelen estar limitados espacialmente a las áreas próximas a los paleocauces que les dieron origen, dificultando así el conocimiento sobre su extensión de manera precisa.

Debido a la cobertura psamítica, que domina el área de estudio, los depósitos más antiguos solo son visibles en valles fluviales, sectores acantilados o perforaciones. La línea de costa ubicada entre Pehuen-Có y la base Baterías, presenta la única zona acantilada del área. En ella es posible observar un perfil de aproximadamente 14 m de altura (en su sector más potente), que ha sido estudiado por varios autores y es tomado como base para la estratigrafía en esta tesis (Figura 5.2.1).



Figura 5.2.1: Sector costero acantilado en la Base Baterías.

A su vez en distintos sectores de la playa de Pehuen-Có son comunes los afloramientos aislados de niveles de conglomerados, limolitas, etc. los cuáles serán oportunamente descritos e interpretados en conjunto con las descripciones de recortes o *cutting* de las distintas perforaciones existentes.

5.2.1 Descripción de las unidades aflorantes en el sector acantilado

Sedimentos Pampeanos o Formación Monte Hermoso (Mioceno superior – Plioceno inferior)

Bajo este nombre se agrupan un conjunto de materiales finos denominados comúnmente como depósitos "pampeanos" o "pampianos" (Fidalgo *et al.*, 1975), equivalentes a la Formación La Toma y Formación Saldungaray en el área serrana. Se corresponde a su vez con el "Piso Hermósico" de Ameghino (1889,1898) y el "Hermosense" de Frenguelli (1928). En la zona costera esta Formación se encuentra representada por depósitos de distinta granulometría, pudiendo definirlos en general como loess rojizo de origen eólico. Para el sector de farola Monte Hermoso, al oeste de Pehuen-Có, se da un caso particular donde estos depósitos son de origen fluvial, pudiéndose diferenciar tres elementos arquitecturales a saber: paleocanales,

depósitos de acreción lateral y depósitos finos de desborde. Los paleocanales poseen un ancho variable de entre 43 y 135 m (Zavala, 1993), encontrándose rellenos por brechas clasto sostén, areniscas finas a medias y mantos de pelitas masivas a laminadas. Las facies correspondientes a los depósitos finos de desborde son las de mayor continuidad lateral, formando así la mayoría de los afloramientos de la Fm. Monte Hermoso. Estos depósitos se componen principalmente de limos y arcillas masivas a laminadas, dispuestas en mantos de pocos centímetros de potencia, intercaladas en menor medida con niveles de areniscas finas a medias (Zavala, 1993).

Considerando lo anterior, los mismos pueden ser interpretados como depósitos fluviales de alta sinuosidad con elevada carga en suspensión. Las paleocorrientes indican un flujo en dirección oeste-sudoeste. La carga principal del curso estaba compuesta por arcillas, limos y arenas finas. La carga tractiva se encontraba conformada por intraclastos redondeados de la llanura aluvial y escasos clastos de cuarcita (Zavala, 1993).

Formación Puerto Belgrano (Pleistoceno inferior):

Esta unidad litoestratigráfica se encuentra dispuesta suprayaciendo de manera discordante a la Formación Monte Hermoso. Su composición es principalmente psamítica, encontrándose areniscas finas, medias y gruesas en tonalidades grises claras a amarillentas, presentando buena selección. Gran variedad de estructuras sedimentarias son reconocidas en los afloramientos del sector de Farola Monte Hermoso, identificándose estratificación entrecruzada tabular-planar, laminación paralela, en artesa, etc. (Zavala, 1993). Esta formación presenta un nivel de ceniza volcánica cuya extensión se registra por más de 300 metros.

Diversos autores han interpretado estos depósitos como de origen eólico, correspondientes a migración de dunas bajas en climas secos (Frenguelli, 1928; Leanza, 1948; Zavala, 1993.) o como depósitos fluviales (Bonaparte, 1960). Estructuras diagnósticas de ambientes eólicos presentes en los afloramientos, dan sustento a las afirmaciones de los primeros.

Ameghino (1889,1898) correlaciona esta unidad con el "Piso Puelche" de Buenos Aires, mientras que Frenguelli (1928) y Vignati (1925, en Zavala, 1993) la correlacionan con el "Belgranense".

Formación Punta Tejada (Pleistoceno inferior – Holoceno medio):

La Fm. Punta Tejada se encuentra dividida en tres subunidades informales denominadas Miembro inferior, Miembro medio y Miembro superior (Zavala 1993).

Bonaparte (1960) denominó esta unidad como "Capa de Rodados Cuarcíticos" Su ubicación en el perfil estratigráfico depende del sector, pudiendo verse en contacto erosivo entre sí o apoyando sobre las areniscas de la Fm. Puerto Belgrano. Suele encontrarse oculta por las dunas vegetadas.

A) Formación Punta Tejada, Miembro inferior (Pleistoceno inferior – medio):

Se encuentra formado por depósitos de brechas y conglomerados, con intraclastos correspondientes a las formaciones infrayacentes (Fm. Monte Hermoso y Fm. Puerto Belgrano). La configuración de las brechas es tanto matriz sostén como clasto sostén, estando compuesta principalmente por arena gruesa mal seleccionada (Zavala, 1993). Según el mismo autor, estos depósitos fueron acumulados por procesos de flujos gravitatorios de sedimentos, y en menor medida eólicos, asociados a fuertes relieves. Su edad se infiere por su posición en la columna estratigráfica.

B) Formación Punta Tejada, Miembro medio (Pleistoceno medio-superior)

Está integrado por conglomerados clasto sostén, cuya característica distintiva es la presencia de clastos de cuarcita de hasta 10 centímetros de diámetro, siendo su espesor máximo registrado 80 centímetros. Su origen estaría relacionado con una antigua desembocadura del río Sauce Grande (Zavala, 1993). Se correlaciona con las terrazas aluviales más antiguas del Río Sauce Grande (Furque, 1967, 1974; Borromei, 1992), las cuales se asignan al Pleistoceno superior.

C) Formación Punta Tejada, Miembro superior (Holoceno inferior-medio)

Sus afloramientos se encuentran de manera puntual en el tope de la barranca Monte Hermoso y suelen estar cubiertos por los depósitos de dunas actuales. Se compone de arenas finas a medias y en menor medida gravas, disponiéndose en contacto neto sobre el miembro medio o inferior o la Formación Puerto Belgrano. Ante la ausencia de restos fósiles que permitan acotar la incertidumbre sobre su edad, ésta ha sido tentativamente asignada de acuerdo a escasos materiales arqueológicos encontrados y a su posición en la columna estratigráfica (Zavala y Quattrocchio, 2001).

Durante la campaña realizada al sector acantilado costero, la Fm. Monte Hermoso se observó con base cubierta y una potencia máxima de 4 m. La Fm. Puerto Belgrano presenta espesores variables, siendo la potencia media de 2 m. Por último, para la Fm. Punta tejada, no fue posible definir un espesor promedio ya que se encontraba de manera discontinua y mayormente cubierta por las dunas vegetadas (Figura 5.2.1.1).

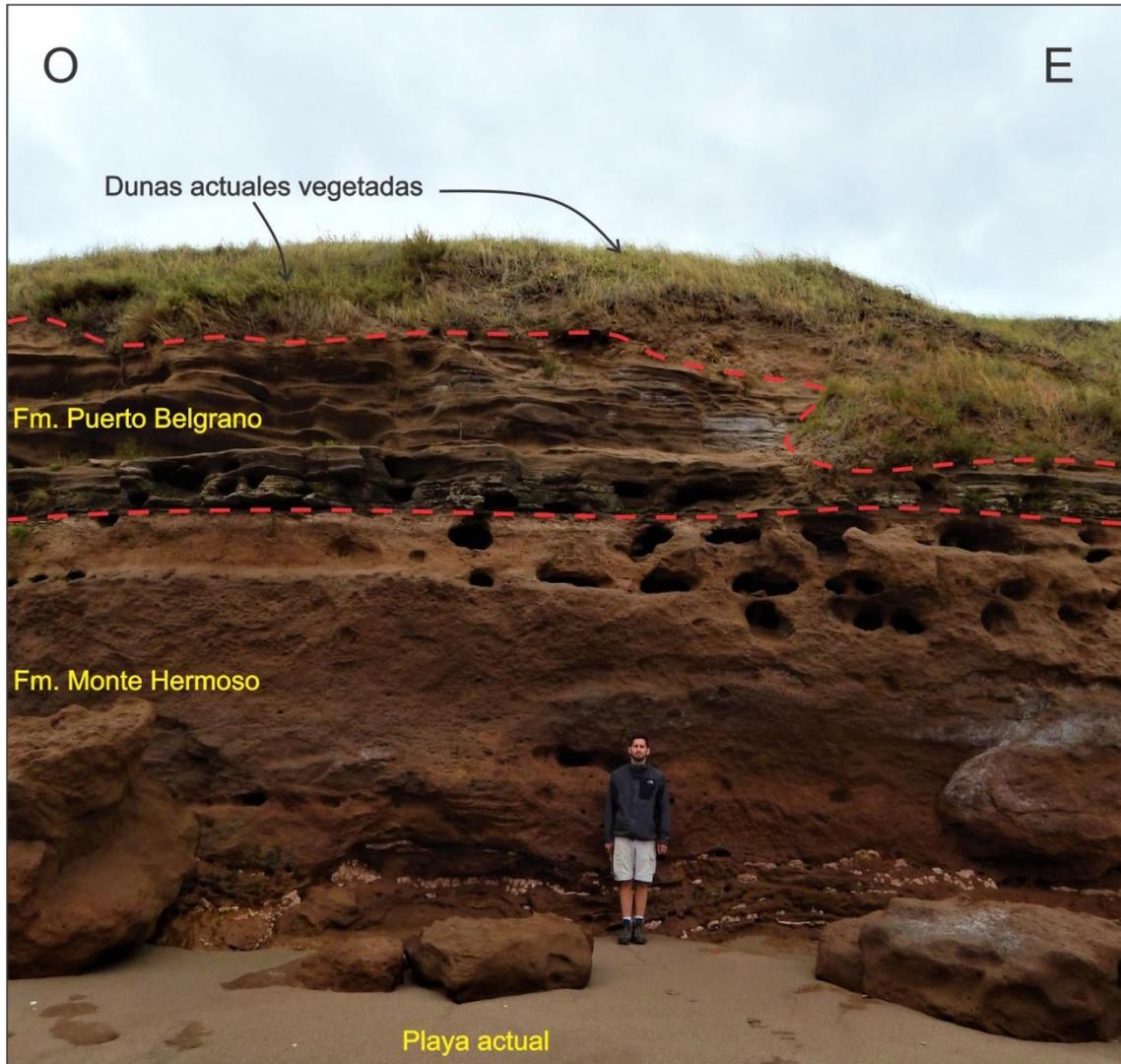


Figura 5.2.1.1: Acantilado en el sector costero. En la base se observa la Fm. Monte Hermoso suprayacida por la Fm. Puerto Belgrano y dunas vegetadas.

5.2.2 Descripción de las unidades aflorantes en el sector de playa entre Pehuencó y Monte Hermoso

Secuencia La Delta (Pleistoceno inferior – medio)

Se compone de conglomerados de clastos cuarcíticos, los cuales aparecen discontinuamente en los valles del río Sauce Grande (Zavala y Quattrocchio 2001). En el área costera es posible apreciar afloramientos en el sector del "Médano Blanco". Se trataría de depósitos fluviales acumulados dentro de un antiguo valle del río Sauce Grande. Su edad es inferida por su posición dentro de la columna estratigráfica (Manera de Bianco *et al.*, 2008).

Secuencia San José (Pleistoceno medio – superior)

Esta secuencia se encuentra distribuida a lo largo del valle del río Sauce Grande, encontrándose en la zona costera en cercanías de la "playa del barco". Está formada por depósitos conglomerádicos gruesos y areniscas (figura 5.2.2.1), presentando restos de mamíferos fósiles, correspondientes al Lujanense (Zavala y Quattrocchio 2001). De acuerdo a lo anterior, es posible ubicar estos depósitos en el Pleistoceno tardío (Aramayo y Manera de Bianco, 1989). El análisis sedimentológico permite relacionar estos depósitos con antiguos cursos del río Sauce Grande.



Figura 5.2.2.1: Niveles conglomerádicos aflorantes en el sector de Playa del Barco. A) Rodados de cuarzo junto con rodados líticos. B) Vista general del sector de playa con afloramientos de conglomerados.

Niveles Marinos de Pehuen-Có (Pleistoceno superior)

Estos niveles afloran principalmente en la zona intermareal de Pehuen-Có. Se observan variaciones granulométricas, encontrándose desde areniscas gravosas hasta pelitas con restos de conchillas (Manera de Bianco *et al.*, 2008). Según los análisis de Vega *et al.* (1989), esta unidad se habría depositado en un ambiente marino de baja profundidad, similar a un "shore face" o playa sumergida. Estos depósitos corresponderían a la transgresión marina que tuvo lugar hace aproximadamente 120.000 años, correspondiente al estadio isotópico marino 5 (EIM 5). Estos depósitos son descritos por Aliotta *et al.* (2001) en el estuario de Bahía Blanca. Por su edad y características podrían correlacionarse con la Fm. Puente de Pascua (Fidalgo *et al.*, 1973; Schnack *et al.*, 2005), la cual se reconoce en la costa bonaerense de manera discontinua sobreyaciendo a los sedimentos pampeanos.

Secuencia Agua Blanca (Pleistoceno superior – Holoceno medio)

Esta unidad se encuentra integrada por depósitos conglomerádicos, arenosos y pelíticos, los cuales permiten subdividirla en tres miembros. Los distintos miembros de

esta Secuencia afloran en los valles del Río Sauce Grande y otros arroyos que drenan desde la zona serrana (Zavala y Quattrocchio, 2001). En el sector costero se han reconocido tanto por medio de perforaciones como por afloramientos existentes en la playa actual.

A) Secuencia Agua Blanca, Miembro inferior (Pleistoceno superior)

Se encuentra formada por conglomerados gruesos de cuarcita, con finas intercalaciones de areniscas. Puede observarse en los valles del río Sauce Grande y otros arroyos del sector, principalmente en el área periserrana. En el sector costero solo fue confirmada su presencia por medio de perforaciones en la zona de Monte Hermoso (Manera de Bianco *et al.*, 2008). El estudio sedimentológico y estratigráfico realizado por Zavala y Quattrocchio (2001) indica que estos conglomerados se habrían depositado en un antiguo valle fluvial del Río Sauce Grande. La existencia de restos fósiles permite inferir una edad Lujanense (Pleistoceno tardío) para este miembro.

B) Secuencia Agua Blanca, Miembro medio (Pleistoceno superior)

Se compone principalmente de areniscas finas a medias, de coloraciones rojizas, las cuales presentan alteraciones por organismos y marcas de raíces. Se encuentra ampliamente distribuida en las terrazas más modernas en los arroyos de la zona y se podría asociar con el "Lujanense típico" (Manera de Bianco *et al.*, 2008). Según Zavala y Quattrocchio (2001), estos depósitos serían producto de acumulaciones eólicas y de ríos efímeros, producidas dentro de los valles principales durante períodos secos. Las descargas de los ríos efímeros habrían formado depósitos lacustres, donde se generaron las icnitas de megafauna existentes hoy en día en el sector costero de Pehuen-Có (Manera de Bianco *et al.*, 2008).

C) Secuencia Agua Blanca, Miembro superior (*Holoceno inferior – medio*)

Se encuentra compuesto por areniscas finas y arcillitas, de tonos grises. Su génesis se relaciona con el aumento de humedad ocurrido en el fondo de los valles fluviales secos durante gran parte del Pleistoceno (Manera de Bianco *et al.*, 2008). El cambio climático ocurrido a inicios del holoceno habría generado lagunas freáticas y suelos con problemas de drenaje (Zavala y Quattrocchio, 2001).

Médanos consolidados e inconsolidados (Holoceno medio – superior)

En el sector costero se encuentran depósitos modernos arenosos, los cuales conforman cordones costeros paralelos a la línea de costa. A partir de imágenes satelitales es posible inferir al menos tres cordones costeros de distintas edades, encontrándose hacia el continente los más antiguos (Figura 5.2.2.2). Estos depósitos aquí llamados médanos costeros son, en parte, equivalentes a la Formación Punta Médanos, utilizada por otros autores para denominar los médanos costeros en el noreste bonaerense.

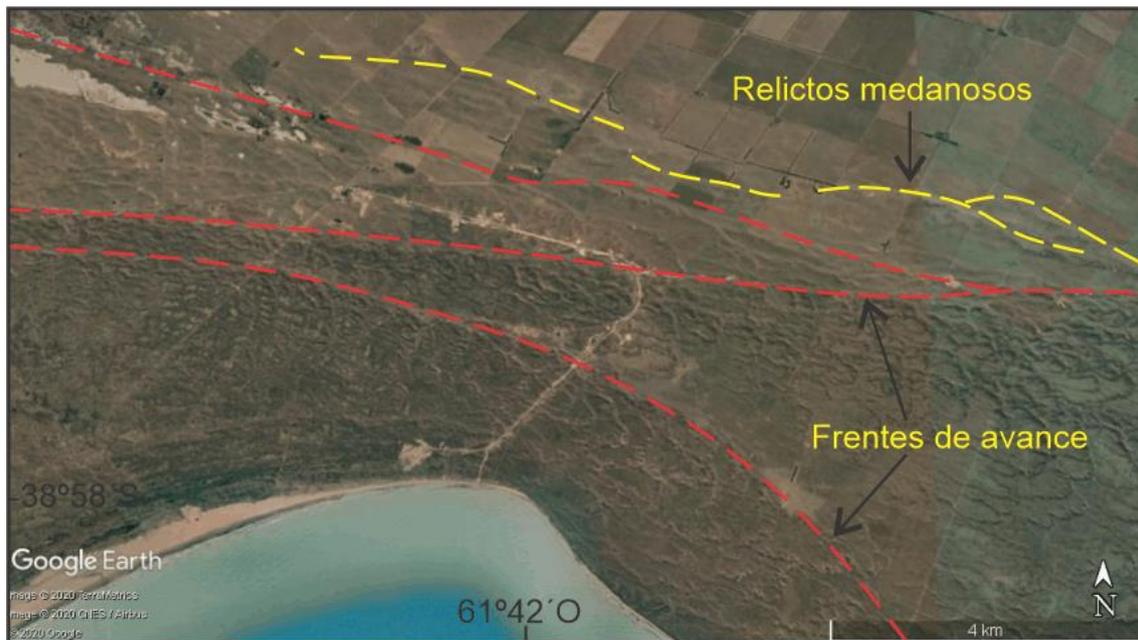


Figura 5.2.2.2: Frentes de avance de los cordones medanosos. En el sector de llanura se observan relictos de antiguos médanos.

Observadas bajo la lupa, las arenas se presentan finas a medias, de tonalidades pardas, con granos subredondeados y bien seleccionadas. Están compuestas principalmente por cuarzo, feldespatos, plagioclasas, abundantes líticos anaranjados, amarillos, grises y rojizos con restos de óxido, opacos y restos de conchillas.

Como complemento de lo anterior, las muestras fueron analizadas utilizando difracción de rayos X, identificando cuarzo, plagioclasas y en una muestra cordierita. (Figura 5.2.2.3).

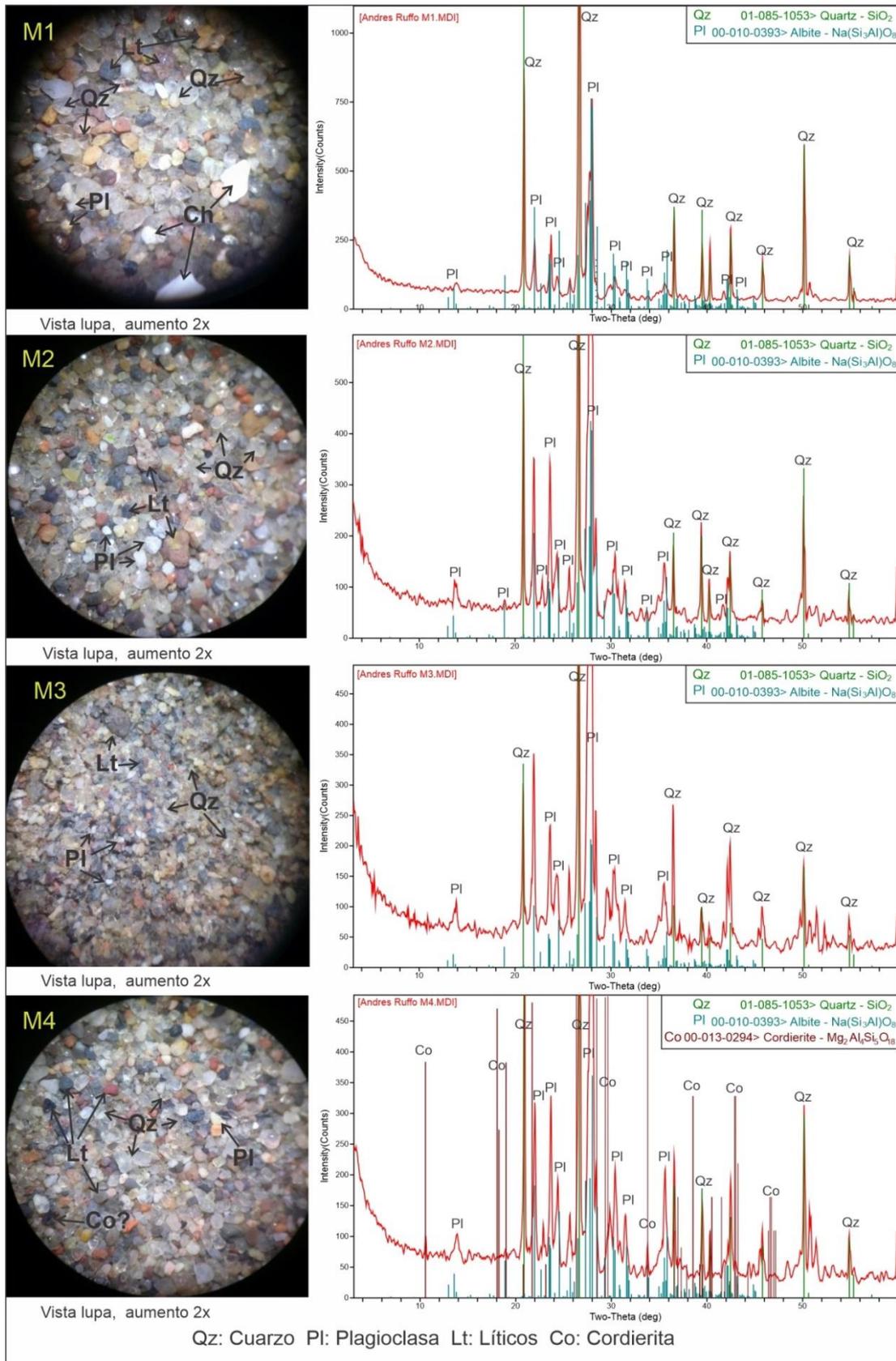


Figura 5.2.2.3: Detalle de las cuatro muestras de arena analizadas bajo lupa (izquierda) y su respectivo difractograma de rayos X. Las vistas de lupa son ilustrativas y no poseen escala.

Estudios texturales y mineralógicos sobre arenas del sector de Monte Hermoso, realizados por Fernández *et al.* (2003), las clasifica como arenas muy finas a finas y moderadamente seleccionadas. La mineralogía descripta, de muestras correspondientes a la base del médano como al médano propiamente dicho, indican que los minerales más representativos son el cuarzo, feldespatos potásicos, plagioclasas intermedias, vidrio volcánico, opacos, augita e hipersteno. A su vez son abundantes los fragmentos líticos, representados por basaltos, andesitas, pórfidos, cuarcitas y granos en avanzado estado de alteración (alteritas) (Tabla 5.2.2.1).

Análisis realizados por Marcos (1999) y Aliotta *et al.*, (1999), concuerdan en que las alteritas del sector estarían representadas principalmente por plagioclasas.

Tabla 5.2.2.1: Mineralogía de las arenas, sector Monte Hermoso (modificado de Fernández *et al.*, 2003).

	Promedio %	%
Especie	Base de médano	Médano
<i>Cuarzo</i>	26	26
<i>Líticos</i>	22,6	20,8
<i>Alteritas</i>	22,7	24,25
<i>Plagioclasas</i>	9	8,7
<i>Feldespatos. K</i>	8,4	9
<i>Opacos</i>	4,9	8,15
<i>Vidrio</i>	2,8	0,9
<i>Augita</i>	1,4	0,9
<i>Hipersteno</i>	1,1	0,15
<i>Granate</i>	0,7	0,7
<i>Hornblenda</i>	0,2	--
<i>Amorfos</i>	0,2	0,45

De lo anterior se desprende que, aproximadamente el 90% de la composición mineralógica de las arenas corresponde a cuarzo, líticos, alteritas, plagioclasas y feldespatos potásicos.

5.2.3 Análisis del registro litológico o cutting de perforaciones

Se analizaron los registros de perforaciones existentes en la zona de la Base Baterías (al oeste del área del estudio), Pehuen-Có (sector central) y de Monte Hermoso (hacia el este del área de estudio) (Figura 5.2.3.1, Sectores A, B y C respectivamente).

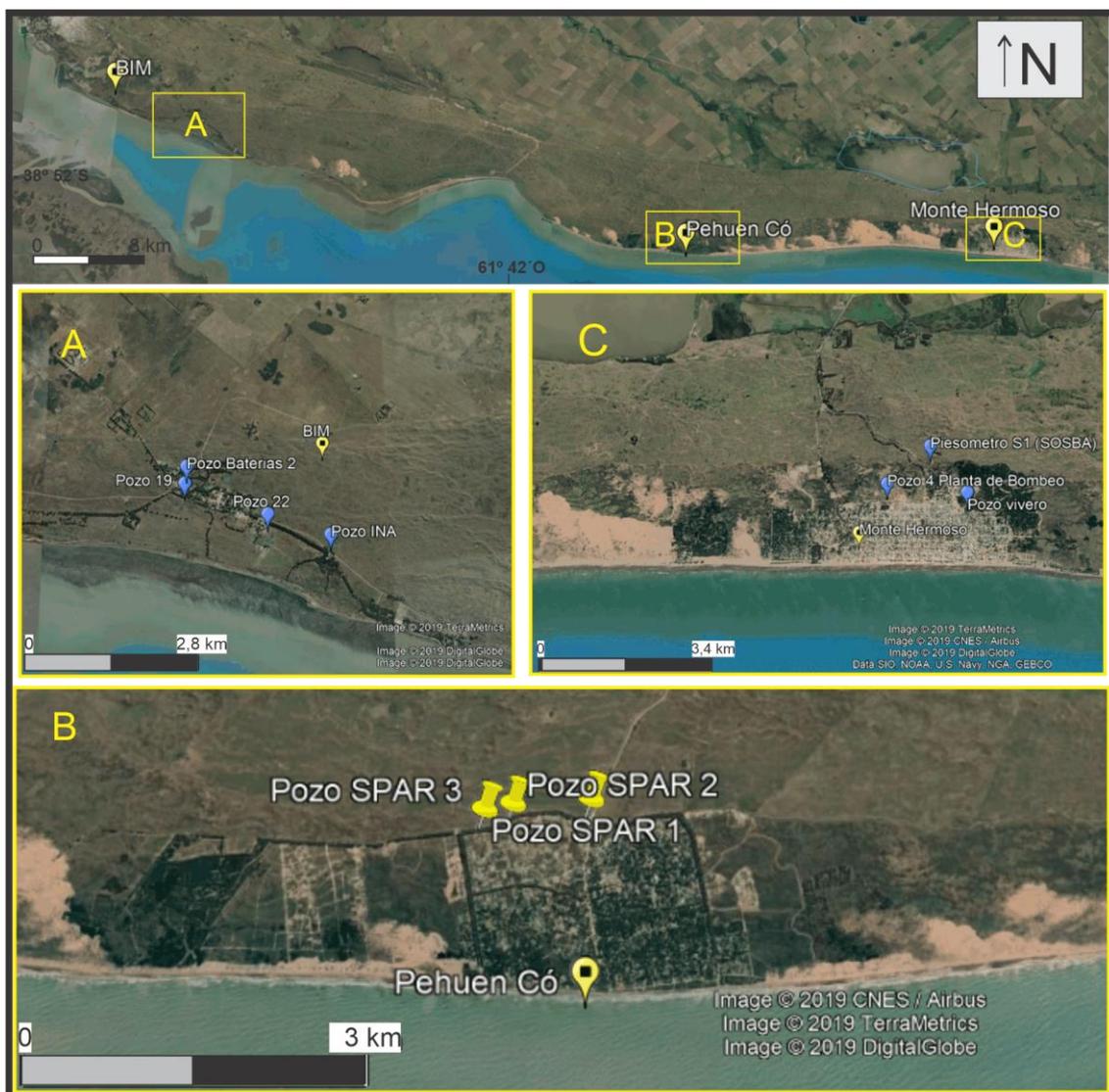


Figura 5.2.3.1: Perforaciones analizadas geológicamente. A- Sector Base Baterías. B- Sector Pehuén-Có (El cutting de los pozos SPAR 1 y 3 fue descrito para esta tesis). C- Sector Monte Hermoso.

Las descripciones existentes de las perforaciones (Tabla 5.2.3.1) y los registros de recortes o *cutting* estudiados en esta tesis, permiten apreciar diferencias con las litologías observadas en los afloramientos litorales.

Tabla 5.2.3.1: Descripciones de las perforaciones existentes en la Base Baterías y Monte Hermoso.

Perforaciones Base Baterías y Monte Hermoso		
Perforación Baterías N° 2 (1970)	Profundidad m	Litología
	0-1,00	Arena: Fina, parda oscura, algo arcillosa con detritos vegetales
	1,00-8,10	Arena: fina parda con magnetita.
	8,10-8,75	Limo: pardo arcilloso calcáreo.
	8,75-10,60	Arena conchífera: fina, parda, con concreciones calcáreas, magnetita y abundantes subfósiles (bivalvos).
	10,60-15,10	Arena conchífera: parda con subfósiles (Amiantis sp, Vermetus sp, Ostrea sp, Balanus sp, Hydrobias sp.
	15,10-28,10	Arena conchífera: fina, parda grisácea y grisácea, concreciones calcáreas y de arenisca azul grisácea, con bivalvos subfósiles (littoridina sp. Hydrobias sp. Crepidula sp. Amiantis sp. Ostrea sp. Vermetus sp.
	28,10-30,05	Limo: pardo, algo rosado, calcáreo con tosca y valvas subfósiles (Ostrea sp)
	30,05-35,40	Limo: pardo rosado, arenoso, calcáreo, con algo de tosca.
	35,40-45,70	Arcilla: parda rosada y grisácea clara, fragmentosa y compacta, vetas limolíticas.
	45,70-62,60	Arena: fina, parda grisácea y parda, con magnetita y escasas partes cementadas.
	62,60-63,85	Limo arenoso: con rodados de cuarcita, fragmentos de arenisca dura, concreciones de arenisca grisácea, concreciones de tosca parda con Briozoarios (Membranípera sp.). Valvas de Ostrea Spreta dórb. Y Olivancillaria sp. Arena fina parda, arcillosa poco calcárea.
Perforación Baterías N° 19 (1952)	Profundidad m (límite superior)	Litología
	0	Arena: fina, parda oscura con magnetita.
	1	Arena: fina, parda, con magnetita.
	8.10	Limo arenoso: fino, pardo rosado, algo arcilloso, calcáreo friable.
	9	Limo arenoso: fino, pardo grisáceo, poco cementado restos de bivalvos.
	28,8	Arena: fosilífera, fina a media, parda clara, fragmentos de tosca.
	34,8	Sedimento areno-limoso, fino, pardo amarillento.
	67,55	Tosca arenosa, disgregada.

Perforación Baterías N° 22 (1963)	Profundidad m	Litología
	0,00-5,40	Arena: fina a muy fina, parda oscura con magnetita
	5,40-10,60	Grava: fina, rodados de arenisca, arenisca cuarcítica, cuarzo y calcáreo, abundantes fragmentos de conchillas
	10,60-12,60	Limo arenoso: pardo grisáceo, calcáreo, disgregable, escasa grava fina en parte rodados de arenisca, calcárea dura con fósiles (<u>Cardita plata</u> Ihering y fragmentos indeterminables)
	12,60-15,60	Limo arenoso: poco arcilloso, pardo grisáceo con escasas partes rosadas oscuras, calcáreo, fragmentoso, yesífero, poco disgregable con fragmentos fósiles indeterminables
	15,60-25,10	Arena: fina a muy fina, parda grisácea magnetífera, escasa grava fina de arenisca cuarcítica, abundantes fragmentos fósiles indeterminables.
	25,10-37,00	Limo arenoso: poco calcáreo, pardo amarillento oscuro, poco yesífero, disgregable.
	37,00-42,45	Limo arenoso: poco arcilloso, pardo rosado oscuro, fragmentoso disgregable.
	42,45-43,55	Limo arcilloso: poco arenoso, pardo gris amarillento, fragmentoso, disgregable.
	43,55-44,90	Limo: areno-arcilloso, pardo rosado claro, fragmentoso, yesífero, disgregable.
	44,90-47,00	Limo arenoso: poco arcilloso, pardo claro, fragmentoso, yesífero, disgregable
	47,00-47,90	Limo: arcilloso, poco arenoso, gris blanquecino, tobaceo, fragmentoso, muy yesífero, disgregable.
47,90-62,30	Limo: arenoso muy fino, pardo, fragmentoso, muy disgregable.	
Perforación N° 4 Monte Hermoso	Profundidad m	Litología
	0-11	Arena: fina, parda oscura con magnetita.
	11-20.	Arena: Mediana a mediana gruesa, cuarzosa con pocos fragmentos de conchillas intercalaciones de finas laminillas de calcáreo

	20-25	Arena: Muy fina limosa a limo arcillosa, hacia la base de color rojiza. Pocos fragmentos de conchillas.
Perforación Vivero Monte Hermoso (1976)	Profundidad m	Litología
	0-6	Arena: Gruesa eólica
	6-8.	Arena: Mediana pardo grisácea
	8-11.	Arena: Media a gruesa con escasa conchilla
	11-14.	Arena: Fina parda, con conchilla
	14-17	Arena: Gruesa con conchilla, intercalaciones calcáreas
	17-21.	Arena: Fina a muy fina, con escasas conchillas
	21-22.	Arena: Fina y gruesa con arcilla parda clara e intercalaciones arcillosas
	22-25.	Arena: Fina
	25-26.	Limo: Arcilloso, arcilla parda clara y arena
	26-29	Arena: Fina
	29-30	Arcilla: Rojiza
Perforación Piezómetro S1 SASBA (1976)	Profundidad m	Litología
	0-3	Arena: Mediana cuarzosa, subangular, clastos coloreados, opacos
	3-11,95	Arena: Media a fina, cuarzosa, subangular, opacos
	11,95-12,63	Arenisca: Gruesa, cemento calcáreo, restos de gasterópodos y pelecípodos
	12,63-15,40	Arena: Mediana a fina, con intercalaciones calcáreas duras y restos de conchillas
	15,40-15,45	Arenisca calcárea
	15,45-15,90	Arena: Mediana a fina, con intercalaciones calcáreas duras y restos de conchillas
	15,90-17,90	Arenisca calcárea que pasa a arena media a fina con conchillas
	17,90-23,20	Arena: Mediana a fina con intercalaciones de calcáreas duras y niveles de conchillas
	23,20-23,50	Arcilla: Pardo rozada, densa.
	23,50-26	Arena: Mediana a fina con intercalaciones de calcáreas duras y niveles de conchillas
26-30,40	Loess: arenoso fino con arcillas pardo rosadas plásticas y arcillas compactas pardo claras	

En la mayoría de las perforaciones de la base Baterías y Monte Hermoso se registró, sobre depósitos finos interpretados como "sedimentos pampeanos", un paquete de arenas de granulometría mediana con variada cantidad de conchillas, restos de bivalvos y caracoles marinos.

Dadas las escuetas descripciones existentes sobre estos niveles no es posible afirmar con seguridad, a qué periodo de tiempo corresponden estos depósitos marinos. Si bien podrían tratarse de depósitos relacionados con la ingresión Belgranense (Formación Puente de Pascua y similares) no puede descartarse la influencia de la última ingresión holocena, ocurrida entre los 7000 y 5000 años A.P, sobre el sector costero. Esta última es evidenciada por cordones de conchillas en el sector litoral de Bahía Blanca (Spagnuolo *et al.*, 2013), correlacionables con la Formación Canal de las escobas en el sector norte de la costa bonaerense (Fucks *et al.*, 2010). Respecto a la posible interacción entre estos depósitos, Aliotta *et al.* (2001) describen para el sector del estuario de Bahía Blanca, distintos perfiles donde las arenas con conchillas de estas dos ingresiones marinas, se encuentran superpuestas, sobreyaciendo a los sedimentos pampeanos.

En algunas perforaciones del sector de base Baterías se encontraron niveles de gravas, areniscas gruesas y limolitas los cuales se interpretan como rellenos de paleocauces y sus respectivas planicies de inundación.

Durante el desarrollo de esta tesis se describieron además, los registros litológicos proporcionados por el Museo Municipal De Ciencias Naturales Carlos Darwin de la ciudad de Punta Alta, los cuales corresponden a las perforaciones realizadas por el SPAR con fines del abastecimiento de agua a la localidad de Pehuen-Có.

Las mismas están ubicadas a 1,4 Km de la línea de costa del balneario. Como se indica en la Figura 5.2.3.2, se aprecia la ausencia de areniscas con restos de conchillas. Para el pozo SPAR 1 la componente psamítica es dominante; los niveles inferiores corresponden a limos y arcillas correlacionables con los sedimentos pampeanos.

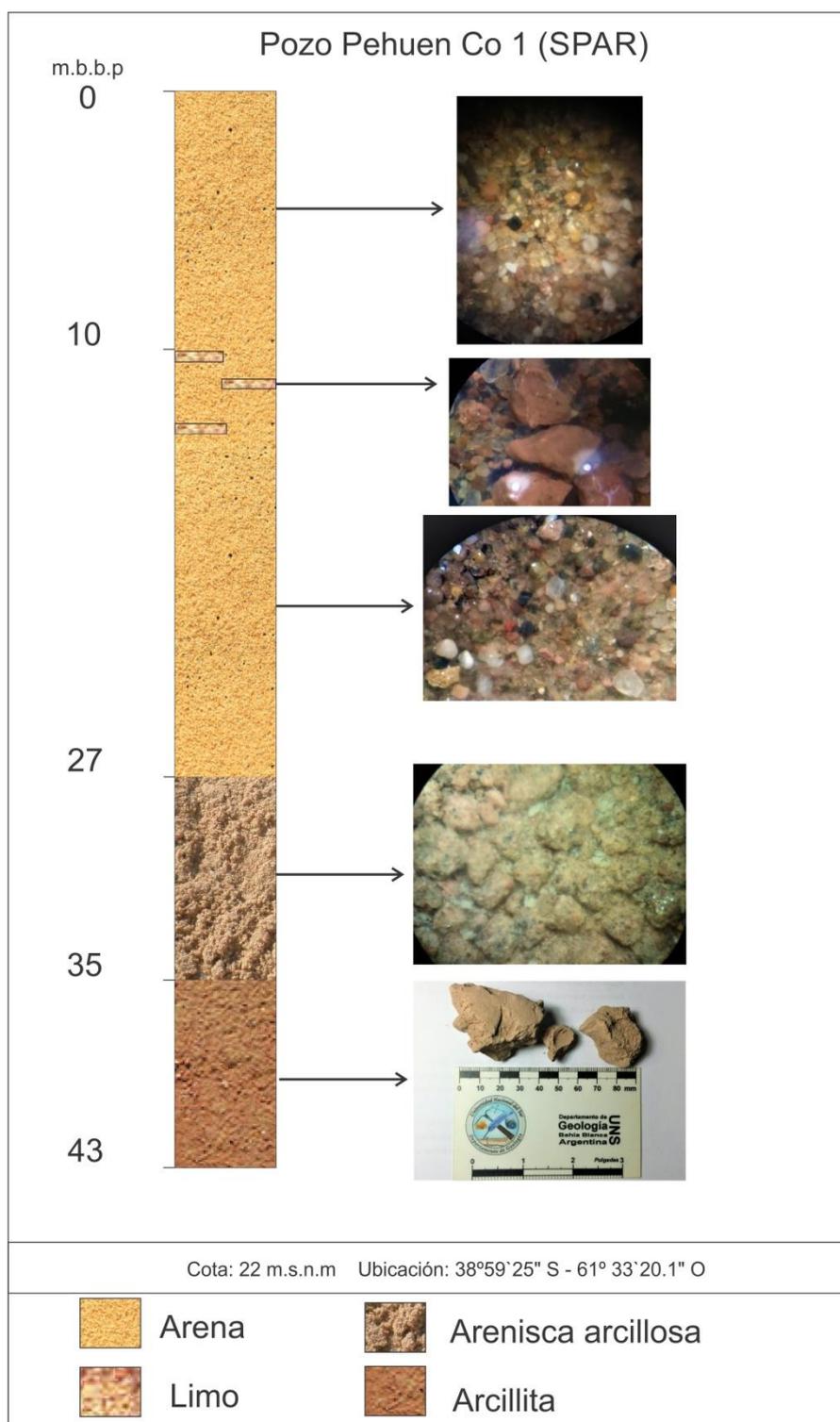


Figura 5.2.3.2: Columna estratigráfica correspondiente al pozo Pehuen-Có 1.

A diferencia del pozo nº 1, el pozo nº 3 presenta mayoría de niveles finos, encontrándose arena (intercalada con limo) solo en los primeros 20 m del perfil (Figura 5.2.3.3).

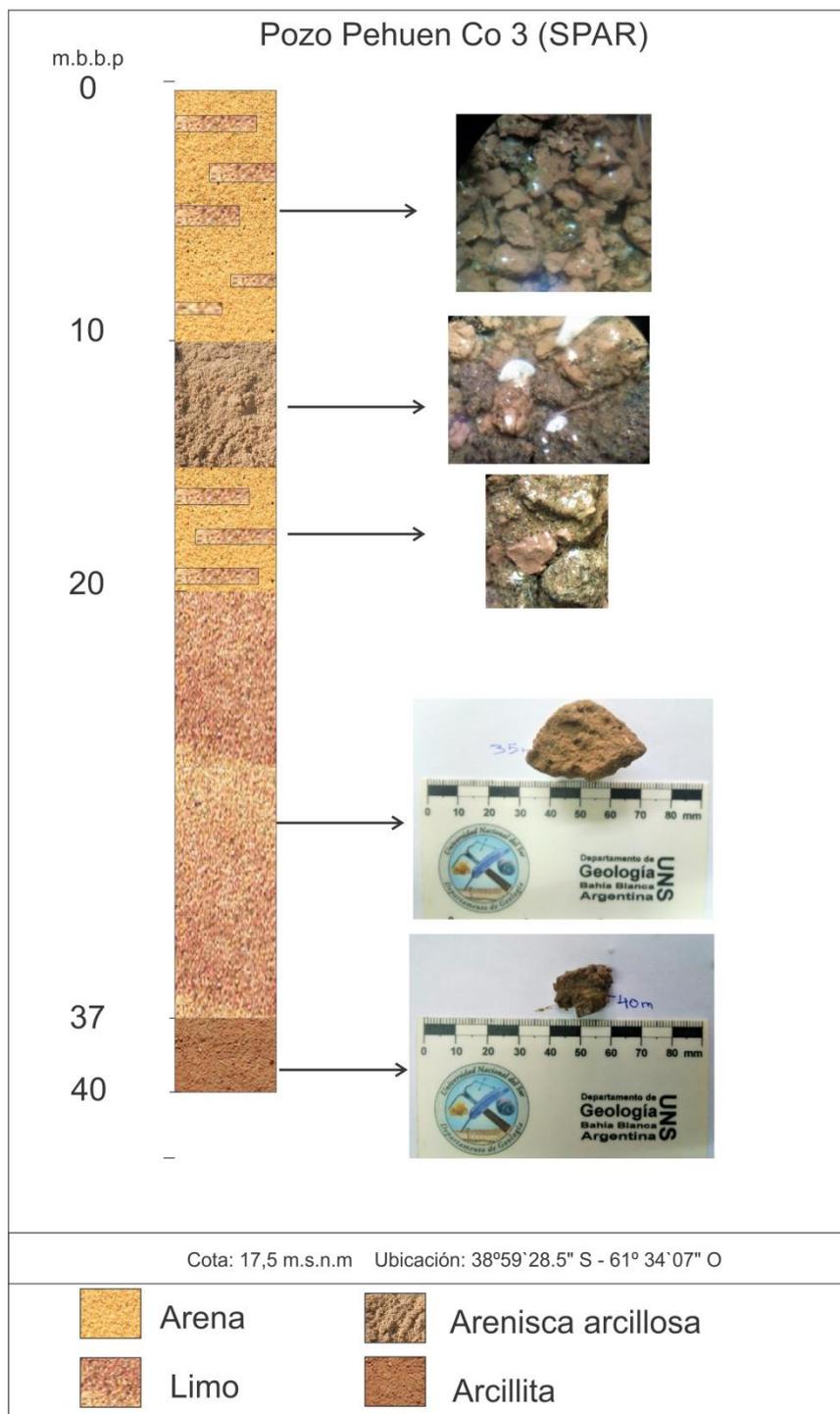


Figura 5.2.3.3: Columna estratigráfica correspondiente al pozo Pehuen-Có 3.

Como se ha expuesto, varias de las unidades aflorantes en el sector costero corresponden a depósitos de ambientes fluviales, donde se reconocen paleocanales y sus respectivos depósitos asociados. Esto implica que muchos de estos depósitos, espacialmente distantes, sean sincrónicos y su correlación no sea del todo sencilla. En la Figura 5.2.3.4 se expone un cuadro que incluye las distintas unidades aflorantes del sector con sus respectivas edades.

Formación / secuencia / sedimentos	Miembro	Litología	Ambiente	Fósiles/ icnitas/restos	7-5 Ma		5-1,8 Ma		1,8-0,78 Ma		0,78-0,126 Ma		0,126-0,0115 Ma		0,0115-actual	
					Mioceno sup		Plioceno		Pleistoceno Inf		Pleistoceno Med		Pleistoceno Sup		Holoceno	
Dunas		Arenas F-M	Eólico	no												
Arenas conchíferas		Arenas M	Marino	si												
Secuencia Agua Blanca	Mb Superior	Arcillas y Arenas finas	Lacustre	no												
	Mb Medio	Areniscas F-M	Lacustre Fluvial	Si												
	Mb Inferior	Conglomerados y Areniscas	Fluvial	no												
Niveles marinos Pehuen co		Areniscas y Pelitas con conchillas	Marino	si												
Secuencia San José		Conglomerados y Areniscas	Fluvial	no												
Secuencia La Delta		Conglomerados Cuarcíticos	Fluvial	no												
Fm. Punta Tejada	Mb. Superior	Arenas y conglomerados	eolico	Arqueologia												
	Mb. Medio	Conglomerados de cuacita	Fluvial	no												
	Mb. Inferior	Conglomerados	Fluvial	no												
Fm. Puerto Belgrano		Areniscas M-F	Eólico	no												
Fm. Monte Hermoso		Areniscas Arcillosas, Limos, conglomerados	Fluvial	si												
Sedimentos Pampeanos		Loess	Eólico	no												

Figura 5.2.3.4: Cuadro estratigráfico del sector costero. Los cuadros de color marrón indican la edad de las formaciones.

A partir de lo anterior resulta evidente que el sector acantilado de Pehuén co representa un relicto que no fue del todo afectado por las transgresiones del Pleistoceno superior y Holoceno medio, no pudiéndose decir lo mismo de los sectores que se encuentran entre dicho acantilado y la base Baterías (hacia el oeste) y entre el acantilado y la zona de Monte Hermoso (hacia el este), los cuales presentan una secuencia sedimentaria que se puede resumir de manera simplificada como: sedimentos pampeanos, niveles de arenas conchíferas, niveles de arenas limo arcillosas y niveles de arenas eólicas (Figura 5.2.3.5)

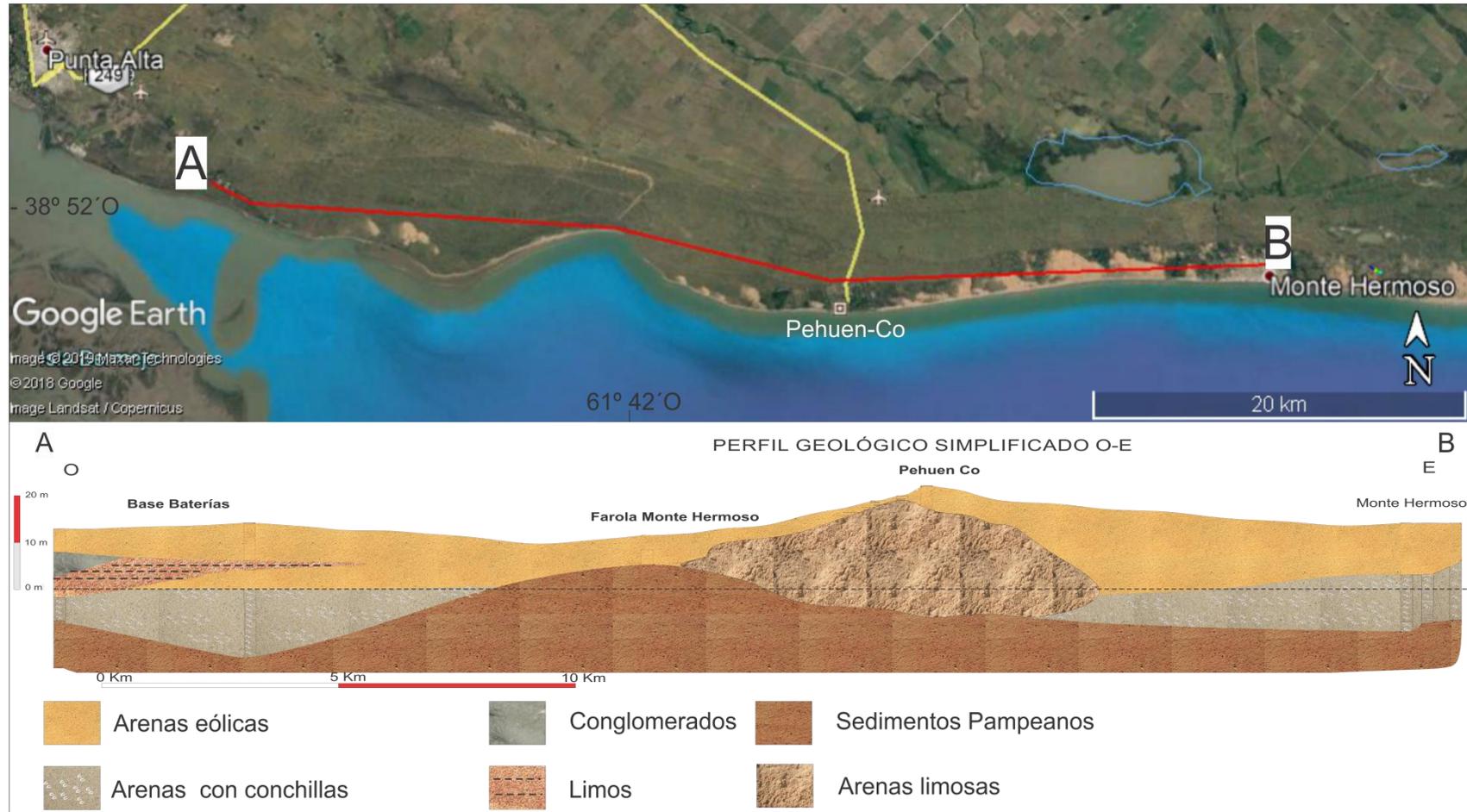


Figura 5.2.3.5: Perfil geológico simplificado de oeste a este del área de estudio.

5.2.4 Evolución paleoambiental del sector e historia geológica neógena

La era cenozoica se ha caracterizado, hasta la actualidad, por reiteradas variaciones climáticas que han modificado y generado gran parte de los depósitos que hoy en día abundan en la provincia de Buenos Aires.

Luego de la transgresión ocurrida durante el Mioceno (óptimo climático del Mioceno medio), donde gran parte de Sudamérica se vio cubierta por mares (mar Paranaense entre otros), la transición entre el Mioceno y el Plioceno se caracterizó por una disminución de la temperatura, formación de hielos y disminución del nivel del mar. En este contexto seco, la disponibilidad de materiales propensos a ser transportados por el viento aumentó. Es así que, grandes cantidades de sedimentos fueron transportados y acumulados formando lo que hoy se conoce como "Sedimentos Pampeanos".

Las variaciones del nivel del mar implican un cambio en el nivel de base de los ríos y arroyos, fomentando así su migración. En este contexto varios cursos erosionaron el sector, formando cauces de distinta magnitud y generando depósitos fluviales en el área (Fm. Monte Hermoso). A su vez los depósitos eólicos eran abundantes dada la disponibilidad de sedimentos finos.

Hacia el Pleistoceno medio (120.000 años A.P) se registra un óptimo climático (EIM 5e) acompañado por un aumento en el nivel del mar, el cual se habría encontrado entre 6 y 9 m sobre el nivel actual (Cappellotto *et al.*, 2020). Esto queda evidenciado por depósitos ricos en fósiles marinos, tanto en el área de estudio como en gran parte de la costa atlántica (Aliotta *et al.*, 2001; Schnack *et al.*, 2005).

La disminución de la temperatura se ve reflejada en el englazamiento de los polos y de gran parte de la tierra. La caída del nivel del mar durante el Pleistoceno tiene uno de sus máximos negativos hacia los 20.000 años A.P (Pleistoceno superior), donde el nivel se encontraba 115 m por debajo del nivel actual (Clapperton, 1993). Para ese entonces, la línea de costa se ubicaba a unos 170 Km "mar adentro" respecto a su posición actual (Melo *et al.*, 2003). Lo que hoy en día es la costa bonaerense, se exponía como una pampa surcada por ríos y arroyos, los cuales con el correr del tiempo han dejado toda clase de depósitos asociados a ellos (Fm. Punta Tejada, Mb. inferior y medio, Secuencia La Delta, etc.). Distintos cauces incididos sobre los sedimentos pampeanos y pospampeanos, hoy paleocauces, han sido registrados por medios geofísicos en el actual canal de ingreso al estuario de Bahía Blanca, frente a la ciudad de Punta Alta (Spagnuolo, 2005; Giagante, 2009) y en el

sector de Pehuen-Có en estudios geofísicos realizados para esta tesis (cfr. Capítulo 6).

Durante el Holoceno el planeta se torna más cálido, generando el derretimiento de los hielos y el aumento paulatino del nivel eustático. Este mejoramiento climático inicia aproximadamente hace 9000 años A.P, denominándose Hypsitermal (Benedetto, 2010).

Durante el Holoceno temprano el nivel del mar aumenta, registrándose un máximo de 9 m sobre el nivel actual para los 6000 años A.P (Codignotto *et al.*, 1992; Aliotta *et al.*, 2000). Este aumento del nivel del mar puede haber generado erosión sobre el sector inundado, quitando gran parte de los sedimentos depositados durante el Pleistoceno. Dicha ingresión marina es evidenciada en el sector de Monte Hermoso, Punta Alta y Bahía Blanca por cordones de arenas conchíferas de origen marino (Farinati *et al.*, 2002).

Hacia los 3000 años A.P el nivel del mar se encontraba aproximadamente en una situación similar a la actual, fluctuando entre 2 y 3 metros hasta el día de hoy. Es en ese lapso de tiempo que grandes cantidades de arenas habrían migrado desde el oeste, donde se encontraba el mar de arena pampeano (Iriondo, 1999) que, sumado a los aportes de arenas por deriva litoral, habrían formado los distintos cordones de dunas de la costa bonaerense.

Es clara la influencia de las variaciones del nivel del mar, ocurridas principalmente durante el Pleistoceno-Holoceno, sobre la costa atlántica bonaerense y en particular el área de estudio (Figura 5.2.4.1).

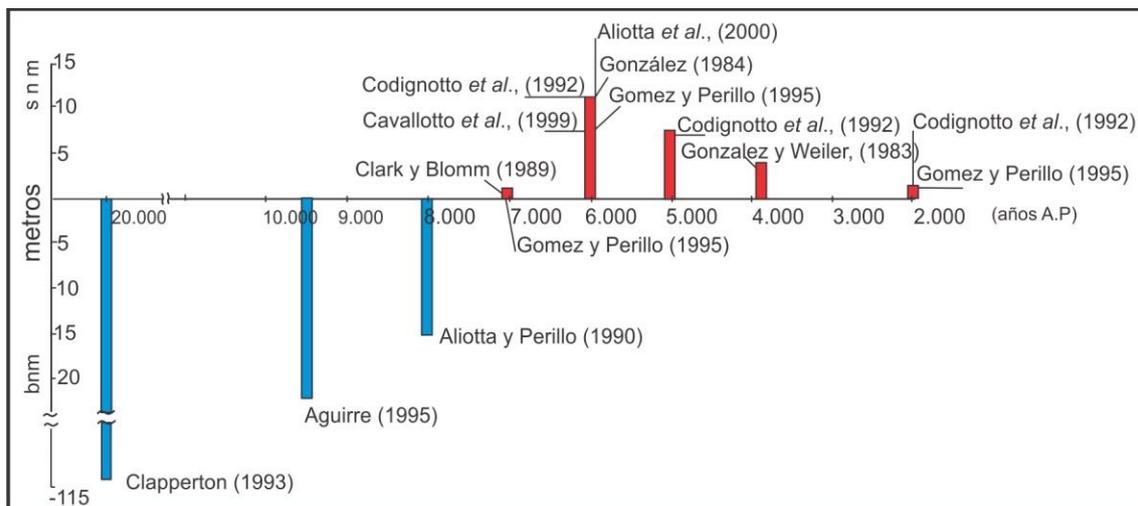


Figura 5.2.4.1: Variaciones del nivel del mar durante el Pleistoceno-Holoceno. Modificado de Melo *et al.*, 2003.

Por lo expuesto, se puede concluir que la configuración geológica actual del área, es el resultado de una gran cantidad de eventos ocurridos principalmente durante el Pleistoceno superior – Holoceno.

De esta manera y tomando a los sedimentos pampeanos como la base de toda columna estratigráfica, gran parte del subsuelo se encuentra compuesto por arenas marinas ricas en conchillas, sobre las cuales se ubican las arenas eólicas actuales. El sector acantilado ubicado en Punta Tejada, junto con gran parte del sector de Pehuencó no presenta gran cantidad de sedimentos de origen marino, por lo que probablemente dicha área se habría comportado como un tómbolo que no fue del todo afectado por las dos ingresiones anteriormente mencionadas. Sin embargo alberga gran cantidad de niveles fluviales identificados como paleocauces, llanuras de inundación y lagunas/pantanos, en los cuales han quedado preservadas huellas y restos de la megafauna que habitó el sector durante el Pleistoceno superior y el Holoceno. Estos niveles se encuentran en su mayoría cubiertos por las arenas holocenas y son solo visibles durante la bajamar en el sector de playa.

5.3 Referencias bibliográficas

- Aguirre, M. L. (1995). Cambios ambientales en la región costera bonaerense durante el Cuaternario tardío. Evidencias Malacológicas. IV Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses Actas I:35-40, Junín.
- Ameghino, F. (1889). Contribución al conocimiento de los mamíferos fósiles de la República Argentina. Actas de la Academia Nacional de Ciencias Córdoba 6: 1–1027.
- Ameghino, F. (1898). Sinopsis geologico-paleontologica (formaciones cenozicas y cretaceas). Segundo Censo de la República Argentina (1895), Tomo 1: 113-255.
- Aliotta, S., J. Spagnuolo, S.S. Ginsberg y E. Gelós. (1999). Sedimentos de fondo-subfondo y aspectos geomorfológicos de la plataforma continental entre el estuario de Bahía Blanca y bahía Anegada, provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología 6:19-35.
- Aliotta, S., Spagnuolo, J., y Farinati, E. (2000). Espiga Holocénica en la región costera de Punta Alta, provincia de Buenos Aires, Argentina. II Congreso Latinoamericano de Sedimentología. VIII Reunión Argentina de Sedimentología Actas I:29–30, Mar del Plata.

- Aliotta, S., Farinati, E.A. y Spagnuolo, J.O. (2001). Sedimentological and taphonomical differentiation of Quaternary marine deposits, Bahía Blanca, Argentina. *Journal of Coastal Research*, 17(4):792- 801.
- Aliotta, S. y Perillo, G.M.E. (1990). Línea de costa sumergida en el estuario de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 45:300-305.
- Aramayo, S. A. y Manera de Bianco, T. (1989) - Nuevos hallazgos de mamíferos pleistocénicos en el Yacimiento de Playa del Barco, Provincia de Buenos Aires, *Actas, Primeras Jornadas Geológicas Bonaerenses (1985): 701 -712 Tandil.*
- Autin, J., Scheck-Wenderoth, M., Loegering, M. J., Anka, Z., Vallejo, E., Rodriguez, J., Dominguez, F., Marchal, D., Reichert, C., y Di Primio, R. (2013) Colorado Basin 3D structure and evolution, Argentine passive margin. *Tectonophysics*, Elsevier.
- Benedetto J.L. (2010). "El continente de Gondwana a través del tiempo. Una introducción a la Geología Histórica". Academia Nacional de Ciencias. Córdoba. Argentina.
- Bonaparte, J. F. (1960). La sucesión estratigráfica de Monte Hermoso (Prov. de Bs. Aires). *Acta Geológica Lilloana* 111:273-287.
- Bonorino, G. (1988). Geohidrología del sistema hidrotermal profundo de la región de Bahía Blanca. Tesis doctoral. Biblioteca Central UNS. 289 p. Inédita.
- Borromei, A.M. (1992). Geología y palinología de los depósitos cuaternarios en el valle del río Sauce Grande, provincia de Buenos Aires, Argentina. Tesis Doctoral (Inédito), Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, 200pp
- Cappellotto, L., Acosta, A., Pérez, D., Orgeira, M. y Gomez, D. (2020). Determinación de alta precisión de la altura del nivel del mar alcanzada por la ingresión Belgranense para el sector norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe y Entre Ríos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 77. 132.
- Cavallotto, J. L., Violante R. y Parker G. (1999). Historia evolutiva del Río de la Plata durante el Holoceno. XIV Congreso Geológico Argentino *Actas I:508-511.*
- Clapperton, C.M. (1993). *Quaternary Geology and Geomorphology of South America*. Elsevier Amsterdam, 779 pp.
- Clark, J.A., y Blomm A.L. (1978). Hydro-isostasy and Holocene emergence of South America. *Wetlands International* 46:41-60

- Codignotto, J., Kokot R.R. y Marcomini S.C. (1992). Neotectonism and sea-level changes in the coastal zone of Argentina. *Journal of Coastal Research* 8:125-133.
- Farinati, E., Spagnuolo, J. y Aliotta, S. (2002). Bioerosion and dissolution of molluscs in Holocene deposits in the Bahía Blanca Estuary, Argentina. En: M. De Renzi et al.(eds.), *Current Topics on Taphonomy and Fossilization*, pp.193-198.
- Fernández, E., Caló, J., Marcos, A. y Aldacour, H. (2003). Interrelación de los ambientes eólico y marino a través del análisis textural y mineralógico de las arenas de la playa de Monte Hermoso, Argentina. *Asociación Argentina de Sedimentología. Revista: 10(2):151-162*
- Fidalgo, F., Colado, U.R. y De Francesco, F. O. (1975). Sobre ingresiones marinas cuaternarias en los partidos de Castelli, Chascomús y Magdalena (Provincia de Buenos Aires). 5° Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 225-240, Carlos Paz.
- Frenguelli, J. (1928). Observaciones geológicas en la región costanera sur de la Provincia de Buenos Aires. Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ciencias de la Educación. *Anales II*, 145 pp., Santa Fe.
- Fucks, E., Schnack E. y Aguirre M. (2010). Nuevo ordenamiento estratigráfico de las secuencias marinas del sector continental de la bahía Samborombón, provincia de Buenos Aires. *Revista Asociación Geológica Argentina* 67:27-39
- Furque, G. (1967). Estratigrafía de la región de Pillahuincó, provincia de Buenos Aires. *Acta Geológica Lilloana*, 9: 79-114. Tucumán.
- Furque, G. (1974). Sistema de terrazas aluviales en los alrededores de Saldungaray, Provincia de Buenos Aires, LEMIT. *Anales, Serie II*, N° 265: 101-112.
- Gehabrd, I. (2005). Geología y aspectos exploratorios de la Cuenca del Colorado. En: R.E. de Barrio, R.O. Etcheverry, M.F. Caballé, y E. Llambías (Eds.) *Geología y Recursos minerales de la Provincia de Buenos Aires*. 16° Congreso Geológico Argentino (La Plata), Relatorio: 447-458.
- Giagante, D., A. (2009). Sismoestratigrafía marina del sector costero entre Bahía blanca y Punta Alta, provincia de Buenos Aires. Tesis doctoral. Biblioteca online UNS, <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/123456789/2023/1/Giagante-Tesis.pdf>.

- Gómez, E.A. y Perillo, G.M.E. (1995). Sediment outcrops underneath shoreface-connected sand ridges, outer Bahía Blanca estuary, Argentina. *Quaternary of South America and Antarctica Peninsula*,9(3), 27-42.
- González, M. (1984). Depósitos marinos del Pleistoceno Superior en Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires. IX Congreso Geológico Argentino Actas III:538-555.
- González, M. A. y Weiler N. (1983). Ciclicidad de niveles marinos holocénicos en Bahía Blanca, en delta del río Colorado (provincia de Buenos Aires), en base a edades Carbono-14. Oscilación del Nivel Medio del Mar durante el último Hemiciclo Deglacial de la Argentina Actas 69-88, Mar del Plata.
- Iriondo, M. (1999). Climatic changes in the South American plains: records of a continent-scale oscillation. *Quaternary International*, 57, 93-112.
- Kaasschieter, J. (1965). Geología de la Cuenca del Colorado. Actas 2º Jornadas Geológicas Argentinas 3:251-269. Tucumán.
- Leanza, A. F. (1948). Nota preliminar sobre la geología de las barrancas de Monte Hermoso (Provincia de Buenos Aires), Museo de la Plata, Notas, XIII, Geología Nº 48-3-6. La Plata.
- Lesta, P.J., Turic, M.A., Mainardi, E. (1978). Actualización de la información estratigráfica en la Cuenca del Colorado. En Congreso Geológico Argentino, 7, Actas 1: 701-713. Neuquén.
- Manera De Bianco, T.; Aramayo, S.A; Zavala, C. y Caputo R. (2008) Yacimiento Paleocnológico de Pehuen-Có. Un patrimonio natural en peligro. Libro:"Sitios de Interés Geológico" Editores del libro: Comisión Sitios de Interés Geológico de la República Argentina (CSIGA). Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino. Artes Gráficas Papiros S.A.C.L., Buenos Aires.pp.509 –520
- Marcos, A. (1999). Etude minéralogique des sédiments de l'estuaire de Bahía Blanca, Argentine. Application a la dynamique sédimentaire actuelle. *Geoacta* 24:19-30.
- Melo, Walter D., Schillizzi, R., Perillo, G. M. E. y Piccolo, M. C. (2003). Influencia del area continental pampeana en la evolucion morfologica del estuario de bahia blanca. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*.
- Pángaro, F. (2013). Las cuencas paleozoicas episuturales del margen atlántico dela provincia de Buenos Aires y su control sobre la apertura atlántica. Facultad de CienciasExactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires

- Pascual, R., Ortega Honojosa, E. J., Gondar, D. y Tonni E. P. (1965). Las edades del Cenozoico mamalífero de la Argentina, con especial atención a aquellas del territorio bonaerense. *Anales Comisión de Investigaciones Científicas Buenos Aires*, 6:165-193.
- Rolleri, E. (1975). Provincias geológicas bonaerenses. En *Geología de la provincia de Buenos Aires*, 6º Congreso Geológico Argentino, Re-latorio, 29-84, Buenos Aires.
- Schnack E.J., Isla F.I., De Francesco F.O., y Fucks E.E. (2005). Estratigrafía del Cuaternario marino tardío en la Provincia de Buenos Aires. En: De Barrio R.E., Etcheverry R.O., Caballé M.F., Llambías E. (editores) *Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires*. Relatorio, XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata, Argentina. Capítulo X: 159-182.
- Spagnuolo, J.O. (2005). Evolución geológica de la región costera-marina de Punta Alta, provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Sur, 269 pp.
- Spagnuolo, J.O., Farinati, E. A., y Aliotta, S. (2013). Rodados bioerosionados en depósitos marinos holocenos del estuario de Bahía Blanca, Argentina: consideraciones paleoambientales y procedencia. *Latin american journal of aquatic research*, 41(3), 412-422. <https://dx.doi.org/103856/vol41-issue3-fulltext-5>
- Vega V., Rodríguez S. y Valente M. (1989). Shallow marine and fluvial environments of Quaternary deposits in Pehuen-Có beach, Buenos Aires, Argentina. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, 7: 51–80.
- Vigniati, M.A. (1925). La geología de Monte Hermoso. *Physis* 8:126-127.
- Yrigoyen, M. (1975). Geología del subsuelo y plataforma continental. Relatorio 6º Congreso Geológico Argentino: 139-168. Bahía Blanca.
- Zambrano, J.J. (1972). La cuenca del Colorado. *Geología Regional Argentina* (Leanza, A.F.; Editor), Academia Nacional de Ciencias: 419-437. Córdoba.
- Zambrano, J.J. (1974). Cuenas sedimentarias en el subsuelo de la provincia de Buenos Aires y zonas adyacentes. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 29(4):443-469. Buenos Aires.
- Zambrano, J.J. (1980). Comarca de la cuenca cretácica del Colorado. 2º Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias, 1033-1070. Córdoba

- Zavala, C. (1993). Estratigrafía de la localidad de Farola del Monte Hermoso (Plioceno-reciente), provincia de Buenos Aires. 12º Congreso Geológico Argentino y 2º Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 2,228-235.
- Zavala, C. y Quattrocchio, M. (2001). Estratigrafía y evolución geológica del río Sauce Grande (Cuaternario), provincia de Buenos Aires, Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 56 (1),25-37.

Capítulo 6

HIDROGEOLOGÍA

6.1 Características hidrogeológicas del sudoeste bonaerense

La hidrogeología de la provincia de Buenos Aires, en términos generales, ha sido motivo de estudio para una gran cantidad de autores. Regionalmente la primera subdivisión del territorio bonaerense en ambientes hidrogeológicos fue realizada por Sala (1975), el cual divide la provincia en catorce sub-ambientes. Ese mismo año, Hernández *et al.*, (1975) plantea una división teniendo en cuenta, tanto el aspecto superficial del territorio o de cuenca, como la subdivisión vertical de la columna acuífera fraccionando la provincia en 6 subregiones. Con posterioridad, Sala *et al.*, (1983), Santa Cruz y Silva Busso (1999) entre otros, continuaron analizando la provincia y modificando los límites de las regiones hidrogeológicas. Los aportes de Auge (2004) y González (2005) son los últimos y más completos en este tema. Dichos autores se basaron en gran cantidad de criterios, como los morfológicos, climatológicos y geológicos, entre otros, para definir ocho y once subregiones respectivamente (Tabla 6.1.1).

Tabla 6.1.1: Principales subdivisiones hidrogeológicas de la provincia de Buenos Aires.

Sala 1975	Hernández et al., 1975	Auge 2004	González 2005
1- Noreste	1- Norte	1- Noreste	1- Noreste
2- Noroeste	2- Central	2- Deprimido	2- Noroeste
3- Salado-Villimanca	3- Macachín	3-Noroeste	3-Salado Vallimanca
4- Dep. Rivadavia-Pehuajo-9 de Julio	4- Costero	4- Serrano	4- costera
5- Medanoso	5- Bahía Blanca	5- Interserrano y Pedemontano	5- Cuenca de Bahía Blanca
6-Nororiental ext Tandil	6- Nordpatagónico	6- Costero	6- Norpatagónica
7- Inundable		7- Norpatagónico	7- Endorreica del Suroeste
8- Serranos		8- Cuenca de Bahía Blanca	8- Serrana
9- Interserrano			9- Interserrana Periserrana
10- Bahía Blanca			10- Llanura Costera
11- Norpatagónico			11- Delta
12- Costero			
13- Delta			
14- Depresión Diagonal			

El sudoeste bonaerense incluye las regiones: Cuenca de Bahía Blanca (BB), Costero (CO), Interserrano- Periserrano (IP) y Norpatagónico (NP) (Figura. 6.1.1).

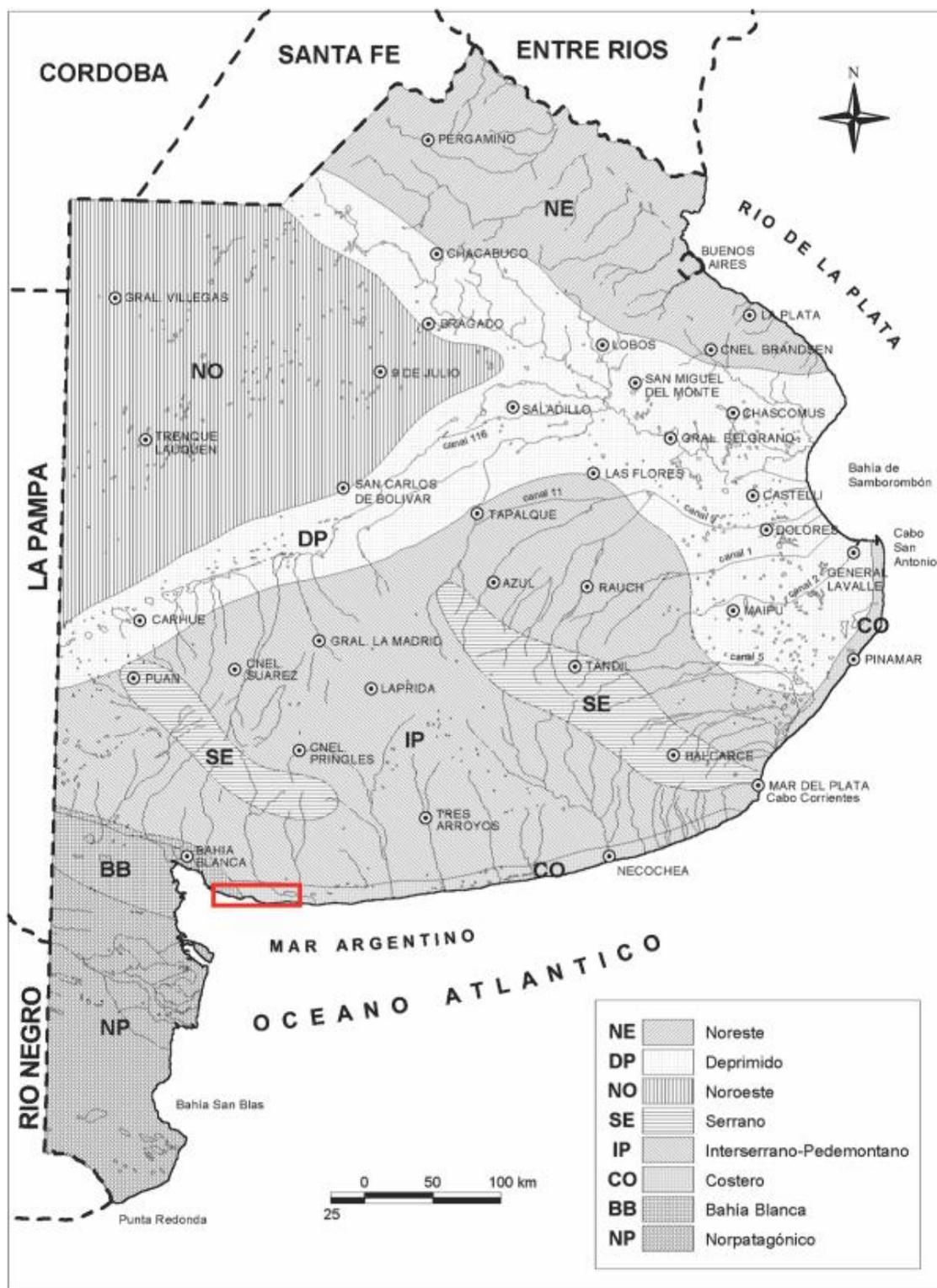


Figura 6.1.1: Regiones hidrogeológicas de la provincia de Buenos Aires. Modificado de González 2005.

Durante mediados del siglo XX, varios autores como García y García (1964) hacían referencia a la columna hidroestratigráfica dividiéndola en “capa libre” y “capa confinada”. No fue hasta el año 1974 cuando la D.Y.M.A.S, en su contribución al mapa geohidrológico de la provincia de Buenos Aires, realiza una subdivisión tomando como

nivel de referencia las "arcillas verdes", depósito ampliamente distribuido en la provincia de Buenos Aires y correspondiente genéticamente a la ingesión del "Mar Paraniense" durante el Mioceno. Este potente espesor de arcillas se designó como "sección paraniense", dando lugar a la denominación "sección eiparaniense" para los depósitos que la suprayacen y de "sección hipoparaniense" a los depósitos subyacentes a dichas arcillas verdes, finalizando la columna en el "basamento hidrogeológico".

Zambrano (1980) y Bonorino (1988) modifican la subdivisión realizada por la D.Y.M.A.S, dividiendo el segmento hipoparaniense en inferior y superior (Tabla 6.1.2).

Tabla 6.1.2: Cuadro hidroestratigráfico para la región de Bahía Blanca (modificado de Bonorino 1988).

EDAD	FORMACIÓN	SECCIÓN HIDROESTRATIGRÁFICA
Holoceno	Sedimentos eólicos/fluviales/marinos	EIPARANEANA
Pleistoceno	Sedimentos post pampeanos	
Plioceno	Fm. La Norma /Fm. Monte Hermoso (Sedimentos Pampeanos) entre otras	
Mioceno	Barranca Final	PARANIENSE
Oligoceno Eoceno	Elvira/Ombucta	HIPOPARANIENSE SUPERIOR
Paleoceno Maastrichtiano	Pedro Luro	
Senoniano Turoniano	Colorado Superior Colorado Inferior	HIPOPARANIENSE INFERIOR
	Fortín	
Triásico a Precámbrico	Basamento	BASAMENTO HIDROGEOLOGICO

En lo que respecta a la zona de interés, la cuenca de Bahía Blanca y la subdivisión Costera quedan incluidas. Dadas las características de este estudio, la cuenca de Bahía Blanca se tratará de manera sintética. Con mayor detalle se analizará la subdivisión Costera, donde se encuentra la cadena de médanos que aloja el acuífero freático de interés.

6.2 Cuenca de Bahía Blanca

La particularidad de la cuenca de Bahía Blanca consiste en la presencia de un sistema hidrotermal profundo (SHP) (Bonorino, 1988). Dicho sistema, estudiado por Wichmann (1918); García y García (1964); Lernan (1968); Bonorino y Paranello (1984) y Bonorino (1988), se caracteriza por la presencia de capas acuíferas termales y profundas, con aguas tanto dulces como salobres.

A continuación se presenta una descripción de las distintas subdivisiones, siguiendo el esquema propuesto la DYMAS (1974).

6.2.1. Sección Hipoparaniana

En esta sección se encuentran agrupadas las capas acuíferas más profundas, portadoras de aguas termales en la región. El sistema hidrotermal profundo está formado por un complejo acuífero de niveles areno-conglomerádicos más o menos continuos que, en su porción superior constituyen el relleno de antiguos paleocauces del cenozoico. El nivel inferior se presenta como un ambiente de llanura de inundación, correspondiente al período Cretácico. La permeabilidad de los materiales se puede clasificar como intermedia, alrededor de 1 a 2 m/día, reducida a veces por la presencia de matriz limo arcillosa. La recarga de este sistema se origina en el pie de monte de las Sierras Australes (Bonorino, 1988).

Si bien las capas portadoras del acuífero corresponden a depósitos fluviales, los mismos pasan transicionalmente a depósitos de ambiente marino, cuyos espesores alcanzan los 90 m (Formación Pedro Luro). Esta formación, de comportamiento acuícludo, actúa como un divisor del acuífero, generando hacia el sur de Bahía Blanca dos niveles diferenciados. El inferior se encuentra alojado en la Formación Colorado (Cretácico), mientras que el superior lo hace en la Formación Ombucta (Cenozoico) (Bonorino, 2005).

El nivel acuífero de la Formación Colorado, en la zona de la Bahía Blanca, se encuentra situado por debajo de los 840 y hasta los 1.300 metros de profundidad y se compone de areniscas cuarcíticas y areniscas conglomerádicas. La secuencia presenta niveles de limo arcilloso y la potencia de las capas más permeables oscila entre 25 y 146 metros (Bonorino, 1988).

Para el área de estudio, la extensión de este nivel acuífero está comprobada a lo largo de casi 20 kilómetros, entre el paraje Villa del Mar y la base Baterías, debido a

la existencia de pozos profundos que explotan dicho acuífero en las instalaciones de la Armada Argentina.

La sección acuífera superior se presenta como una capa permeable de gran espesor que abarca la mitad inferior de la Formación Ombucta (Cenozoico). A partir de los estudios de D.Y.M.A.S (1974) y Bonorino (1988), se reconoce la extensión regional para este nivel superior, encontrándose tanto en el Partido de Coronel Rosales, como en el de Bahía Blanca y partidos aledaños al sur de éste último.

Respecto a la profundidad del acuífero, su techo se ubica a unos 814 m.b.n.m en la base Baterías y entre 600 y 700 m.b.n.m en la ciudad de Bahía Blanca.

Químicamente la mayoría de las aguas del SHP corresponden, de acuerdo a su composición iónica, al tipo cloruradas sódicas. En menor medida se presentan como bicarbonatadas cloruradas a cloruradas bicarbonatadas y cloruradas.

Los sólidos totales disueltos suelen ser escasos, con mínimos que rondan los 332 mg/L en el área de Comandante Espora, Bahía Blanca. En los partidos del sur de la provincia es posible encontrar niveles con alto contenido de sales, producto de un cambio en el origen de la roca que forma el acuífero, la cual pasa de origen fluvial a marino (Bonorino, 1988). En general, el agua alojada en dicho acuífero es utilizada tanto para consumo humano como industrial.

El agua subterránea ha sido datada por varios autores, llegando a la conclusión de que, para el sector de Bahía Blanca, el agua que circula por antiguos paleocauces presenta edades de aproximadamente 2000 años (pozos en la base Comandante Espora). El agua no alojada en estos paleocauces, para los mismos sectores, presenta edades de por lo menos 14000 años A.P (pozo en Ing. White). Este tiempo de contacto con el medio poroso influye negativamente en la calidad química del agua subterránea (Bonorino, 1988).

La temperatura del agua varía entre 50 y 74°C. Si bien la termalidad se encuentra relacionada con la profundidad de yacencia del acuífero, existe en la cuenca del Colorado una fuerte anomalía térmica vinculada al proceso tectónico que le dio origen (Bonorino, 1988).

Los pozos profundos ubicados en los predios de la Armada Argentina, en el partido de Coronel Rosales explotan la capa acuífera situada en la Formación Colorado. Dicho nivel es el más profundo del sistema hidrotermal, por lo que es lógico que su temperatura sea más elevada que el promedio, pudiendo alcanzar los 72 °C

(Bonorino, 1988). Las perforaciones realizadas en el sistema hidrotermal profundo presentaron surgencia natural con caudales medios de 70 m³/h.

Dadas las características antes mencionadas el SHP no solo debe considerarse como una fuente de abastecimiento de agua, sino también como un reservorio de energía geotérmica explotable.

6.2.2 Sección Paraniana

Corresponde a las arcillas verdes del Mioceno, agrupadas en la Fm. Barranca Final. Su comportamiento hidráulico es acuicludo/acuitardo, con algunos niveles acuíferos de agua altamente salina (Albouy *et al.*, 2011). No presenta más interés en este estudio que como capa guía de la sección Paraniana e hidroapoyo de la sección Epiparaniana.

6.2.3 Sección Epiparaniana

Esta sección de la columna hidrogeológica incluye a todas las capas acuíferas y acuitardas que yacen sobre el paraniano. En el área de estudio se explotan varios niveles con aguas de distintas calidades y destinadas a distintos usos.

El nivel inferior de esta sección corresponde al acuífero alojado en la Fm. Chasicó (Bonorino, 2005), el cual se encuentra hidráulicamente confinado y es de carácter surgente o semisurgente.

En lo que a geología respecta, el medio acuífero se define como una arena mediana a fina, muy bien seleccionada y de grano uniforme. Existe cierta gradación normal, encontrándose niveles arenosos en su base, que pasan a limo arenoso hacia su techo. Su espesor varía entre 10 a 20 metros, mientras que la profundidad del techo oscila entre los 158 y 290 metros (Bonorino, 2005).

Desde el punto de vista hidroquímico las aguas del epiparaniano inferior clasifican como cloruradas sódicas. Debido a la circulación regional de dirección norte sur, la calidad del agua empeora en dicho sentido. El pozo del Club de Golf de la Base Naval Puerto Belgrano (zona costera del partido de Coronel Rosales) posee una salinidad de 2660 mg/L (5.200 μ S/cm). Fisicoquímicamente el agua no es potable debido a su alta salinidad, la que supera los estándares establecidos por el Código Alimentario Argentino (C.A.A.).

Hidráulicamente presentan una transmisividad promedio de 46 m²/día y un caudal específico del orden de 1,15 m³/h/m (Bonorino, 2005).

Respecto a su temperatura, no suelen superar los 32 °C en boca de pozo, clasificándose así como moderadamente tibias.

Si bien por su contenido elevado en sales esta agua no es apta para el consumo humano, es importante evaluar su uso industrial y/o recreativo. La posibilidad de mezcla con aguas de bajo tenor de sales la hace útil para instalaciones sanitarias, riego controlado de parques y procesos industriales. La aplicación actual de mayor desarrollo en Bahía Blanca, Coronel Rosales y partidos adyacentes es la de calefacción de viveros, abastecimiento de natatorios y sistemas contra incendios, entre otros.

Un nivel más somero y altamente explotado, existente dentro del epiparaniano, corresponde al acuífero libre alojado en los sedimentos pampeanos y pospampeanos. Estos sedimentos de comportamiento acuífero/acuitado alojan aguas de variada calidad fisicoquímica.

Desde el punto de vista geológico, los sedimentos pampeanos de la región están compuestos principalmente por materiales de tipo loésico. El loess se presenta intercalado con niveles arenosos y arcillosos de variados espesores, siendo común la presencia hacia el techo de capas de tosca. Esta variabilidad estratigráfica produce una anisotropía hidrolitológica en la columna, generando un sistema acuífero multicapa de más de 100 m de potencia en algunos sectores (Albouy *et al.*, 2011).

En la zona norte del partido de Bahía Blanca (localidad de Cabildo), ensayos de bombeo realizados en los primeros 100 m del acuífero permitieron calcular transmisividades del orden de los 144 m²/día y coeficientes de almacenamiento de 0,1, interpretándose como un acuífero libre con drenaje diferido (Albouy *et al.*, 2005).

En lo que respecta a la hidroquímica, el agua del acuífero pampeano suele presentarse como dulce a salobre, con conductividades eléctricas que normalmente rondan los 1500 µS/cm y en ocasiones alcanzan y/o superan los 3000 µS/cm. Esta variabilidad se relaciona directamente con su anisotropía hidrolitológica, el tiempo de contacto del agua con los sedimentos y las zonas de recarga preferencial, como de descarga del acuífero. Tanto en la zona medanosa de Punta Alta como en Monte Hermoso, las perforaciones que superan el manto psamítico y se adentran en los sedimentos pampeanos y pospampeanos finos, presentan notables diferencias químicas con el agua alojada en los médanos. Para el sector de Punta Alta se midieron conductividades eléctricas medias de 3500 µS/cm.

Dichas perforaciones suelen presentar concentraciones de Flúor y Arsénico que superan las establecidas por el C.A.A.. En pozos ubicados en la localidad de Coronel Dorrego, los valores de flúor varían entre 2,7 mg/L a 5,9 mg/L (a 18 °C aproximadamente), mientras que el Arsénico fluctúa entre 0,05 y 0,27 mg/L. (EdiUNS, 2005). La presencia de Flúor y Arsénico en estas aguas está íntimamente relacionada con la meteorización del vidrio volcánico existente en el loess (Limbozzi *et al.*, 2008).

La explotación de este acuífero se realiza en todo el sudoeste bonaerense, encontrándose en la mayoría de las regiones hidrogeológicas de la provincia. Suele utilizarse como fuente de agua para consumo humano, agua de bebida para el ganado y como principal nivel explotable para riego agrícola.

6.3 Región Costera

La región costera comprende las cadenas de dunas o médanos existentes sobre la costa atlántica bonaerense. Estas cadenas se pueden considerar divididas en dos sectores principales. El primero, denominado Barrera Medanosa Oriental que comprende el sector costero entre Punta Rasa hasta las inmediaciones de Mar del Plata. El segundo sector, llamado Barrera Medanosa Austral, comprende el área costera entre Miramar y Punta Alta (Isla *et al.*, 2001). Estas dos barreras medanosas son interrumpidas a la altura de Mar del Plata por afloramientos correspondientes al sistema de Tandilia.

En el área de estudio esta cadena o barrera medanosa se encuentra cubriendo los sedimentos finos correspondientes al Pampeano y post-Pampeano anteriormente mencionados y considerados en este estudio como hidroapoyo del acuífero libre psamítico.

De esta manera, configurando el nivel superior de la columna hidrogeológica para la zona de estudio, encontramos el acuífero libre alojado en dicho cordón costero medanoso.

El hecho de que el acuífero alojado en los sedimentos pampeanos sea libre y la cadena de médanos se encuentre sobre él, implica una conexión hidráulica entre los distintos niveles. Debido a las características químicas de las aguas, es de suponer una zona de mezcla entre los niveles superiores del acuífero pampeano (mayor contenido de sales) y los inferiores del acuífero del cordón costero medanoso (menor contenido de sales). Este último acuífero es el motivo de estudio de esta tesis y se tratará con mayor detalle en los siguientes apartados.

6.3.1 Hidrogeología del cordón costero medanoso. Antecedentes

Los antecedentes sobre estudios hidrogeológicos en la cadena medanosa austral son escasos. Si bien la importancia de los médanos costeros como reservorio de agua dulce es conocida, mencionada y estudiada hace tiempo, la mayoría de los investigadores han centrado sus trabajos en otros sectores costeros, los cuales presentan mayor densidad poblacional e importancia económica. Los autores que han estudiado la zona abordan el tema regionalmente sin encontrarse, salvo en escasas excepciones, estudios hidrogeológicos de detalle.

Las primeras menciones sobre los médanos suroccidentales pueden ser atribuidas a Florentino Ameghino. En el año 1884 al realizar su informe "Las Secas y las Inundaciones en la provincia de Buenos Aires" describe este rasgo geomorfológico como "*una zona ancha de arenas movedizas que se extienden a lo largo de la costa del atlántico*" señalando como esta barrera medanosa impide el libre curso de las aguas continentales hacia el océano, produciendo así sectores anegados.

Hacia fines del siglo XIX se designa el sector de Punta Alta como el lugar ideal para instalar la principal base naval del país. Fueron elegidos para la planificación y construcción de dicha base, el Capitán de Navío Felix Dufourq y el Ingeniero Luigi Luggi. Este último decide explotar el agua contenida en los médanos costeros del sector realizando galerías filtrantes y pozos someros. Las galerías filtrantes son excavaciones horizontales abovedadas, las cuales obtienen agua del acuífero libre por infiltración desde sus paredes, acumulándola en una cámara para luego extraerla por medios mecánicos a la superficie.

En el año 1950 la Dra. Pandolfi realiza el informe titulado "*Hidrología Subterránea de Bahía Blanca*", donde menciona la sobre explotación de pozos someros realizados sobre el cordón costero en la zona Militar de Baterías. En dicho informe expresa la existencia de por lo menos 300 pozos para el año 1901, sumado a una serie de galerías reticuladas las cuales extraían 300 m³ de agua diarios. Este consumo del recurso repercutió negativamente en el acuífero generando la salinización del agua en distintos puntos.

García y García en el año 1964 realizan un estudio titulado "*Hidrogeología de la región de Bahía Blanca*", donde nombran como "*Faja medanosa Oriental*" al sector comprendido entre Punta Alta y el tramo inferior del río Sauce Grande. En dicho relevamiento se hace mención a la explotación domiciliar de agua subterránea que se llevaba a cabo en las localidades de Pehuen-Có y Monte Hermoso, refiriéndose a

aguas de buena calidad con bajo costo de explotación y muy vulnerables a la contaminación. A su vez realizaron distintos cálculos tomando como área de estudio una superficie medanosa de 500 Km² y un espesor acuífero medio de 6 metros, obteniendo así 996 Hm³ de volumen de agua explotable.

La D.Y.M.A.S en el año 1974, en su contribución al mapa geohidrológico de la provincia de Buenos Aires, realiza una estimación de las reservas de agua de las fajas medanosas de la costa, entre ellas la extendida entre Punta Alta y el tramo inferior del río Sauce Grande. Para esto se basa en los datos ya mencionados en García y García (1964).

Sala (1975) analiza los recursos hídricos subterráneos de la provincia de Buenos Aires y describe el comportamiento hidrológico de lo que designa como subambiente de dunas, que se extiende a lo largo del litoral atlántico, desde el cabo San Antonio hasta Bahía Blanca.

Durante el año 1992 el Consejo Federal de Inversiones (CFI) publica el cuadernillo de la serie Investigaciones Aplicadas titulado "Acuíferos Costeros de la Provincia de Buenos Aires" (González Arzac *et al.*, 1992). En dicha publicación se plantea, en una primera etapa, la identificación, delimitación, evaluación y cuantificación del recurso hídrico subterráneo. Se subdivide el área costera en siete regiones, denominando como región VII el sector comprendido entre Punta Asunción y Punta Alta. Lamentablemente solo el estudio de la primera región (Punta Rasa-Punta Médanos) ha sido realizado.

Más recientemente, Di Martino *et al.*, (2014) hace referencia al uso del acuífero libre costero en la ciudad de Monte Hermoso, mientras que Valdez y Silva Busso (2016) exponen algunos aspectos hidrogeológicos de la zona costera dentro de la Base de Infantería de Marina Baterías y la Base Naval Puerto Belgrano.

6.3.2 Límites, respuesta eléctrica y geometría del cuerpo acuífero

6.3.2.1 Límites

Para la determinación de los límites del cuerpo acuífero se analizaron aspectos geológicos, geomorfológicos y geofísicos.

A partir de los datos de perforaciones (*cfr.* Capítulo 5) se puede decir que el acuífero costero medanoso se compone de tres niveles litológicos principales: arenas eólicas, arenas conchíferas y arenas limosas. Su base resulta del contacto con los

sedimentos pampeanos (loess), el cual dependiendo el sector puede ser neto o transicional (Figura 6.3.2.1.1). Variados niveles limosos, de poco espesor y limitada extensión son también registrados.

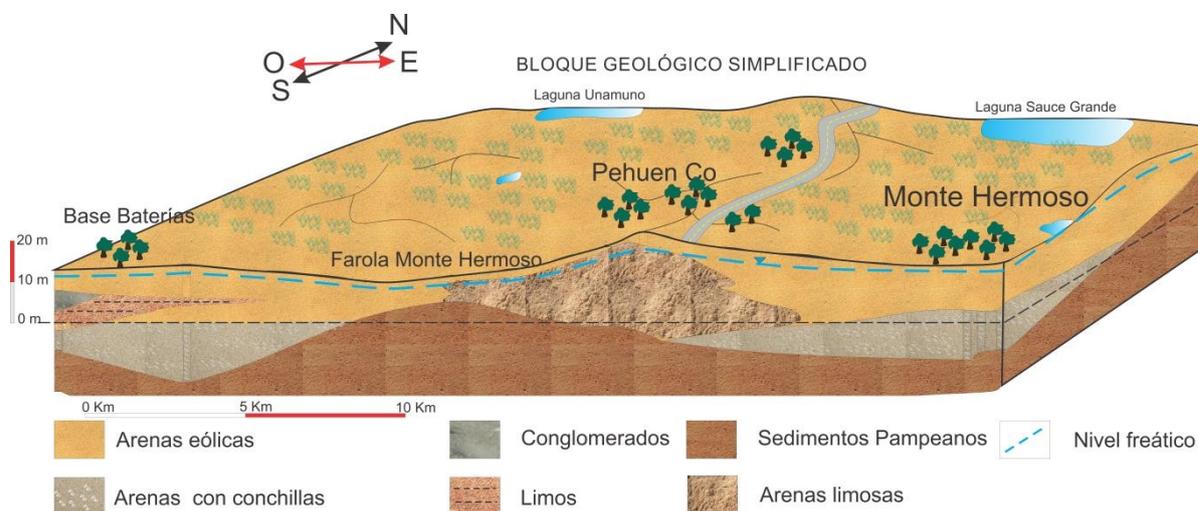


Figura 6.3.2.1.1: Bloque geológico simplificado del área. No se incluye el sector de playa.

De estos tres niveles principales, el correspondiente a las arenas eólicas se presenta como un manto psamítico que cubre toda el área (y a los otros dos niveles anteriormente mencionados), representando la zona no saturada y los primeros metros de acuífero libre. Dada la morfología de la barrera medanosa, la zona no saturada varía en espesor desde inexistente (lagunas freáticas) hasta 10 o 15 m de potencia en la cúspide de los médanos de mayor altura.

El nivel correspondiente a las arenas conchíferas se encuentra distribuido principalmente en los primeros kilómetros desde la línea de costa hacia el continente, salvo en el sector de Punta Tejada (Farola Monte Hermoso) donde dominan frentes de playa acantilados, encontrándose el loess pampeano (Fm. Monte Hermoso) cubierto por niveles arenosos eólicos. Hacia el techo de los niveles de arenas conchíferas, es normal encontrar finos niveles cementados con carbonato de calcio. Estos depósitos conchíferos apoyan sobre depósitos loessicos intercalados con arenas arcillosas, arcillas y limolitas atribuidas a la Fm. Pampeano y están cubiertos por las arenas eólicas.

En el sector comprendido entre Punta Tejada y Pehuen-Có, las perforaciones muestran la presencia de niveles psamíticos ricos en limos. Estas areniscas limosas apoyan sobre los depósitos pampeanos y son cubiertas por las arenas eólicas.

En lo que respecta a límites areales, tanto el norte como el sur resultan límites naturales, configurando el fin de la cadena de médanos en dichas direcciones. Hacia el este y oeste los límites lo constituyen las ciudades de Monte Hermoso y Punta Alta, respectivamente. (Figura 6.3.2.1.2).



Figura 6.3.2.1.2: Límites del área de estudio. El polígono turquesa indica la superficie total.

Geomorfológicamente se identifica el límite norte del sistema como el contacto entre el cordón medanoso y la llanura pampeana. La identificación de este límite en el subsuelo se realizó mediante el análisis de sondeos eléctricos verticales (SEV) y la realización de tomografías de resistividad eléctrica (TRE).

El límite sur corresponde, en superficie, al contacto entre el mar y la playa frontal. Teóricamente puede ser definido en subsuelo por la presencia de una cuña salina o zona de mezcla entre el agua dulce del acuífero freático y el agua salada del mar. Al igual que el límite norte, se utilizaron herramientas geofísicas para analizarlo.

Hacia el oeste la cadena de médanos se encuentra atravesada en su sector centro-sur por un área de marisma relacionada con un canal de marea activo, de aproximadamente 40 Km², que no será tomada en cuenta para posteriores análisis. Al norte de dicho sector costero, el cordón de médanos continúa hasta ser ocupado por la urbanización de la ciudad de Punta Alta. Como límite se toma la ruta provincial 249, ingreso a la ciudad anteriormente mencionada. El límite este del cordón medanoso se encuentra marcado por el ejido urbano de la ciudad de Monte Hermoso. Dicho límite

ha sido dispuesto de forma arbitraria, ya que la barrera medanosa austral se presenta de manera continua hasta la ciudad de Miramar.

De esta manera la superficie total comprende aproximadamente 440 km². Restando el sector de marismas fangosas, el área cubierta por arenas y de interés para esta tesis es de 400 km².

6.3.2.2 Información Geoeléctrica

Como herramienta geofísica para caracterizar, tanto las propiedades eléctricas del cuerpo acuífero como sus límites y geometría, se utilizaron datos antecedentes de sondeos eléctricos verticales junto con tomografías de resistividad eléctrica realizadas para este estudio. El modelo geoeléctrico fue contrastado con el conocimiento geológico e hidrogeológico del área, con el fin de ajustar la metodología. Esto permitió definir las características físicas del subsuelo.

Como antecedentes geofísicos en el área se cuenta con los trabajos realizados por el servicio de aguas subterráneas de Buenos Aires (S.A.S.B.A) ejecutados en el año 1976 para el sector de Monte Hermoso. En el mismo se realizaron 19 sondeos eléctricos verticales (SEV) utilizando el arreglo tetraédrico simétrico tipo Schlumberger (AMNB), con un distanciamiento máximo entre electrodos de corriente que varió entre 160 a 240 m (Figura 6.3.2.2.1).

Los SEV realizados por S.A.S.B.A resultan una herramienta muy útil ya que fueron parametrizados con perforaciones relativamente profundas (entre 40 y 50 m), lo que permitió dar un significado geológico al modelo geoeléctrico alcanzado.



Figura 6.3.2.2.1: Sondeos eléctricos verticales realizados por S.A.S.B.A (1976) en Monte Hermoso.

Analizando los SEV anteriormente mencionados, se puede establecer una respuesta eléctrica (valores de resistividad real) para los sedimentos que componen la columna del sector estudiado (Tabla 6.3.2.2.1).

Tabla 6.3.2.2.1: Valores de resistividad real para los sedimentos que componen la columna estratigráfica del área de estudio (Modificado de S.A.S.B.A, 1976).

Rango de resistividad real ($\Omega.m$)	Terreno equivalente
Mayor a 120	Arenas secas, zona no saturada
Entre 15 y 120	Predominantemente arenas finas a medias, zona saturada con agua de baja salinidad
Entre 5 y 15	Arenoso fino arcilloso, zona saturada con agua salobre
Menor a 5	Arenoso fino arcilloso / Loess pampeano con agua salada

Esta relación resistividad / terreno equivalente es coincidente con las medidas realizadas por Calvetty Amboni y Guisso (1990) para el sector norte de la cadena de médanos.

El perfil geoelectrico, de rumbo N-S, del sector de Monte Hermoso muestra un acuñamiento del cordón medanoso de sur a norte, encontrándose los mayores espesores de zona saturada con agua dulce hacia el sur (Figura 6.3.2.2.2).

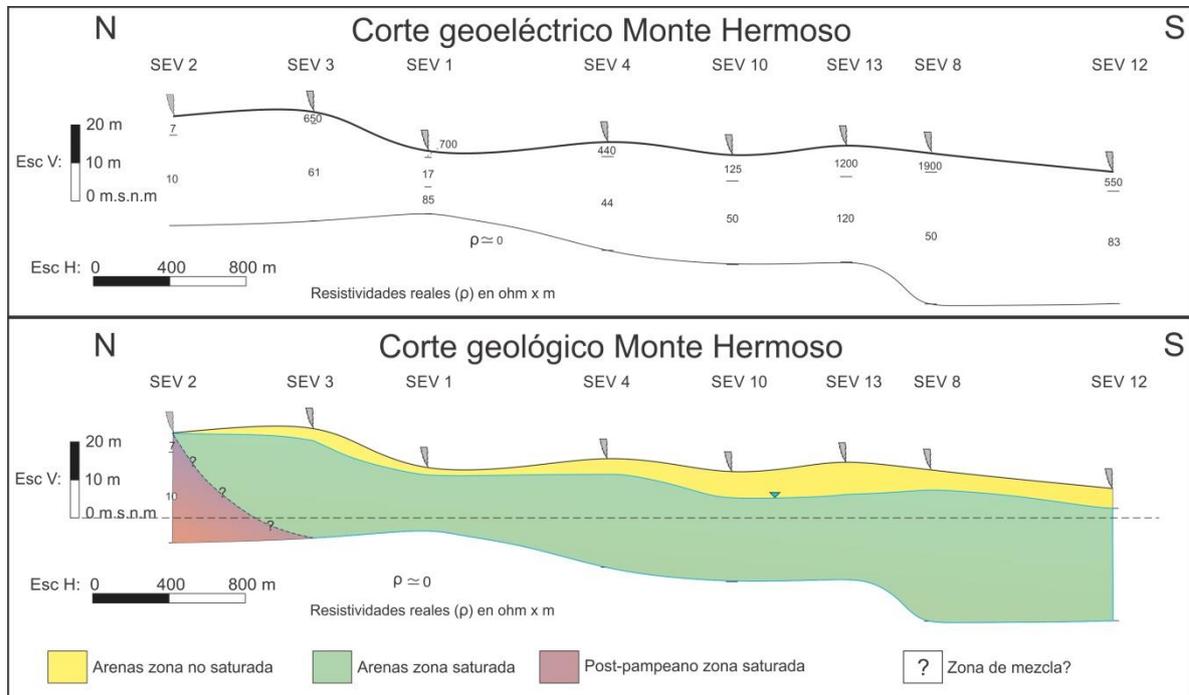


Figura 6.3.2.2.2: Corte geoelectrico y geológico del sector de Monte Hermoso.

Analizando el corte geológico, derivado del corte geoelectrico, se observa en el sector norte una posible zona de mezcla entre el agua dulce del cordón medanoso y el agua salobre proveniente de la llanura. Si bien litológicamente se interpretó en profundidad como sedimentos post-pampeanos saturados de agua salobre, no se descarta la posibilidad de que dicho espesor contenga arenas finas con aguas de mayor salinidad que el promedio del cordón medanoso.

El mayor espesor del nivel arenoso se encuentra en el SEV 8, siendo su potencia, hasta el sustrato conductor, de 35 m incluyendo la zona no saturada. Para el momento de la realización del SEV la misma tenía un espesor de 5 m, coincidente con los datos actuales. El SEV 12, realizado a 200 m del sector de playa indica un espesor saturado con agua dulce de aproximadamente 25 m sin injerencia de cuña salina. El promedio de espesor saturado en arenas es de 19 m.

Para el área de Monte Hermoso se realizó una tomografía eléctrica en los terrenos correspondientes a la planta de bombeo municipal (Figura 6.3.2.2.3). Para la selección del lugar se tuvo en cuenta la proximidad a una perforación cuya litología

atravesada era conocida. No fue posible medir la distancia al nivel freático por cuestiones pertinentes al funcionamiento de la planta de bombeo.

Debido a aspectos del relieve la TRE se efectuó en una cota superior a la perforación (entre 2 y 3 m), sin embargo se pudo contrastar los valores de resistividad eléctrica con los registros de perforación, parametrizando la metodología y tomando estos datos como base para las siguientes tomografías de resistividad eléctrica.

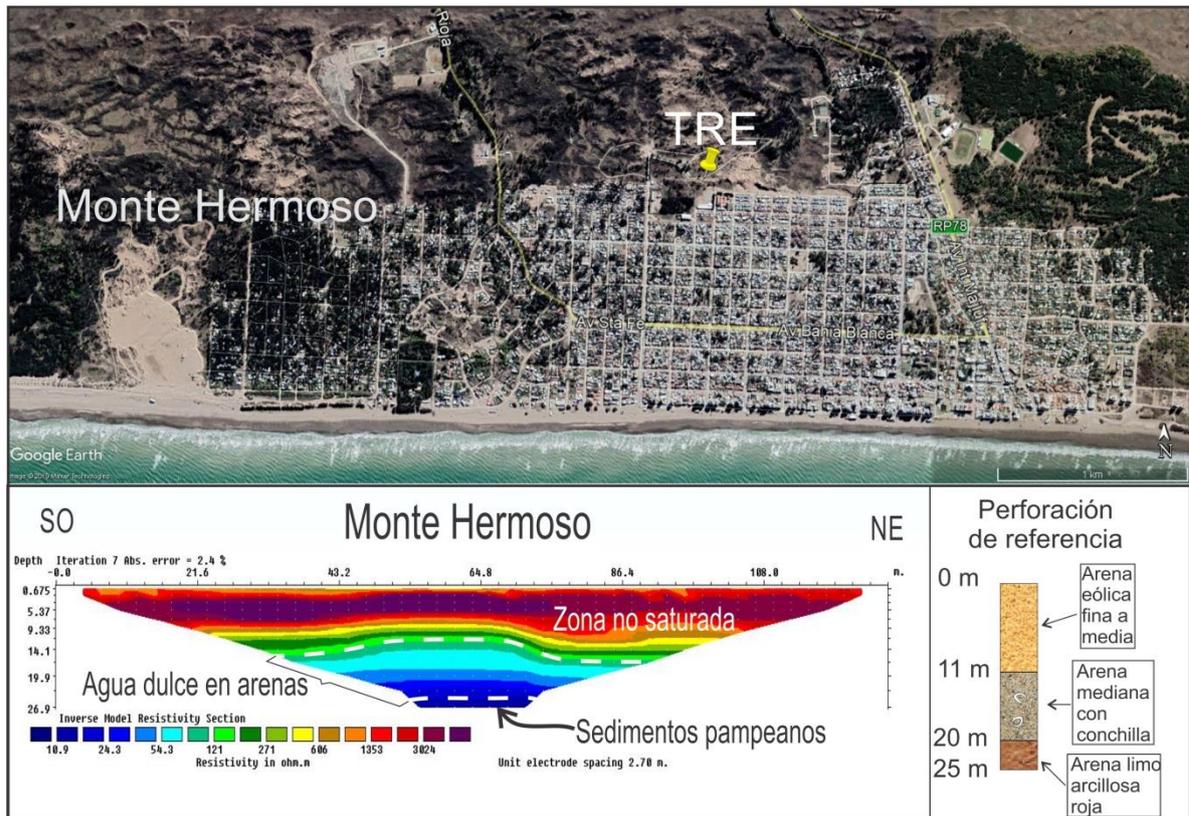


Figura 6.3.2.2.3: Ubicación e imagen de resistividad eléctrica correspondiente a la TRE efectuada en la planta de bombeo (cota de la TRE 14 m, arreglo Schlumberger).

En la imagen de resistividad eléctrica se logró definir la zona no saturada, con resistividades mayores a $150 \Omega \cdot m$ y la zona saturada con resistividades entre 10 y $150 \Omega \cdot m$.

Se pudo constatar que, en la zona saturada, los valores de resistividad menores a $20 \Omega \cdot m$ corresponden a depósitos loésicos de los sedimentos pampeanos, mientras que los valores de resistividad comprendidos entre 20 y $150 \Omega \cdot m$ pertenecen a depósitos arenosos con un espesor aproximado de 15 m.

Los registros litológicos de la perforación utilizada para parametrizar la tomografía diferencian, dentro de los sedimentos arenosos, los que poseen granulometría media a gruesa y escasos restos de conchillas (hacia la base), de las

arenas eólicas finas a medias (hacia el techo). Estas diferencias litológicas no son acompañadas por variaciones marcadas en la resistividad eléctrica.

Otro trabajo antecedente de utilidad es el elaborado por el Instituto Nacional del Agua (INA) en el sector de la Base Baterías, realizado durante los años 2009 (16 SEV) y 2010 (21 SEV). En las mismas se utilizó el arreglo tetraédrico simétrico tipo Schlumberger. Los trabajos de geoelectrica realizados por el INA resultan de mucha utilidad, ya que no se contaba con registros de ese tipo dentro del área militar. Otro aporte interesante son las reinterpretaciones de los estudios del INA, llevadas a cabo por Valdez (2016).

La campaña del año 2009 (Figura 6.3.2.2.4) se enfocó en el acuífero libre, con miras a una explotación poco profunda en la zona habitada de la base Baterías.

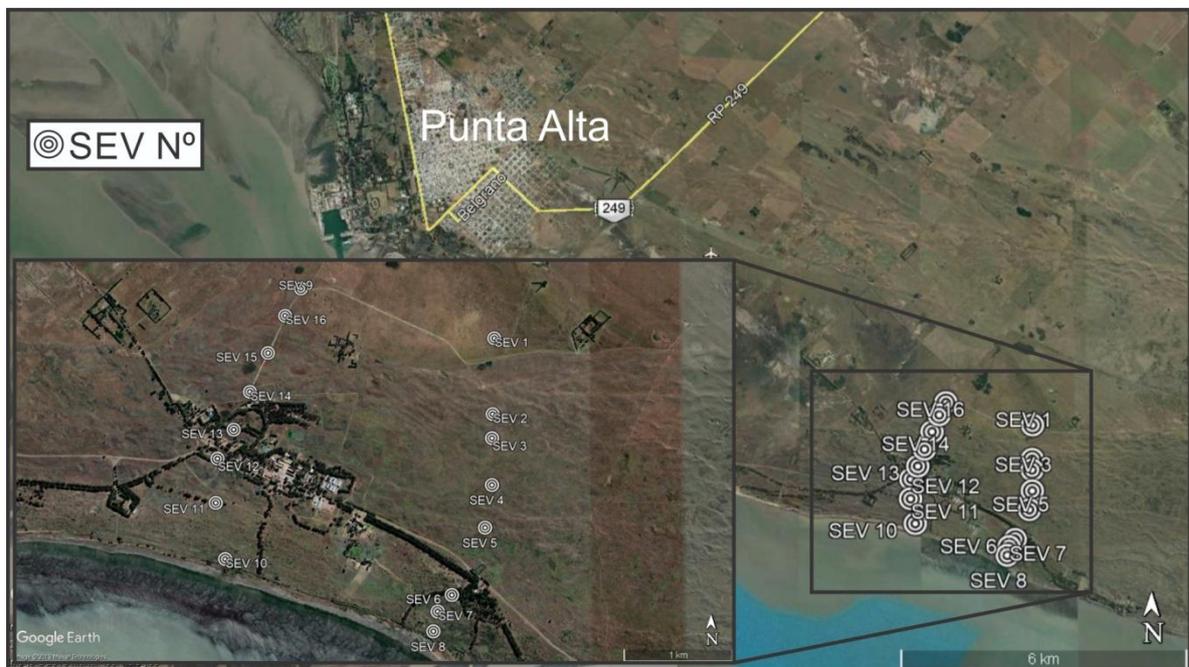


Figura 6.3.2.2.4: Ubicación de los SEV realizados por el INA durante el año 2009.

A partir del análisis de los sondeos eléctricos se confeccionaron dos perfiles de rumbo norte-sur. El primero de ellos, utilizando los SEV n° 1, 10 (SEV de la campaña 2010), 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8, permitió identificar el acuífero del cordón costero tanto en el sector norte como en el sur (Figura 6.3.2.2.5). El inicio del perfil (SEV n° 1) se encuentra dentro de una antigua planicie de mareas, inactiva y actualmente vegetada, mientras que el resto de los sondeos se ubican en sector de dunas vegetadas. El espesor promedio de la zona saturada en arenas es de 25 m. En la mayoría de los casos el sustrato conductivo (piso del acuífero freático) se presenta con resistividades bajas que rondan valores por debajo de 1 Ω .m.

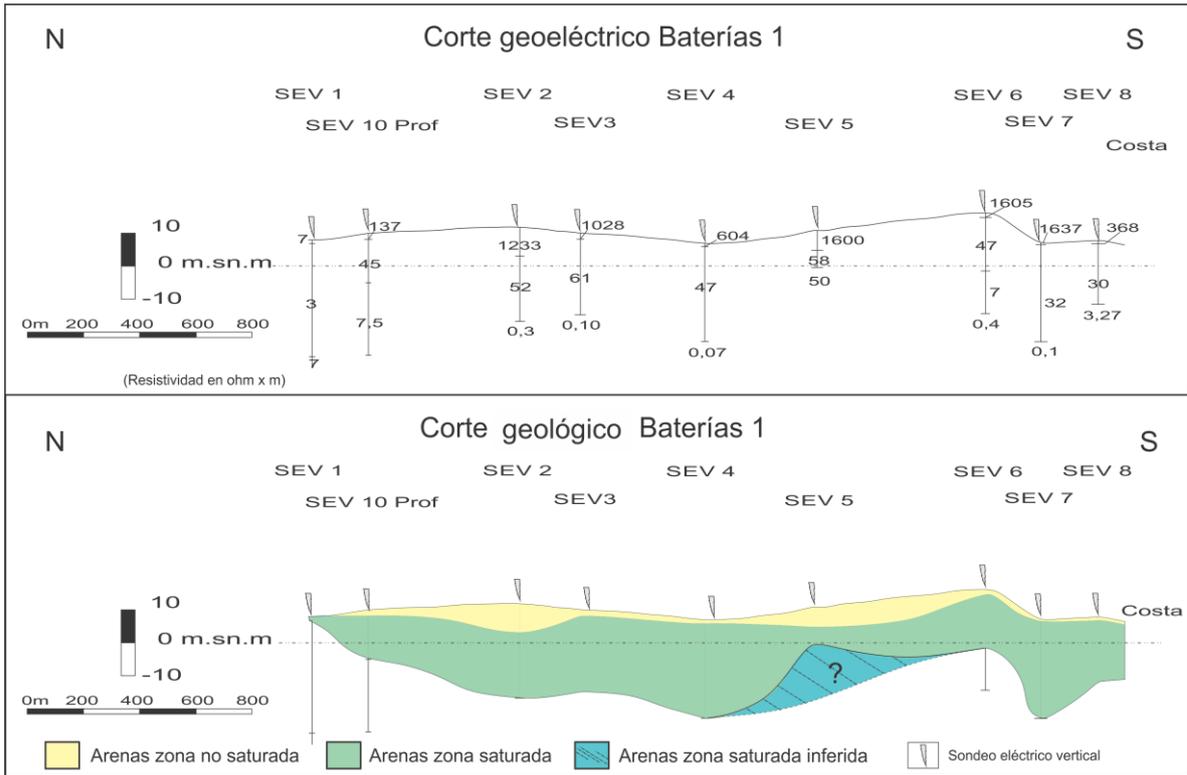


Figura 6.3.2.2.5: Corte n° 1, geoelectrico y geológico de la base Baterías (SEV10 prof. hace referencia a la campaña de prospección profunda).

La campaña efectuada durante el 2010 buscó identificar el sistema hidrotermal profundo en la zona (Figura 6.3.2.2.6).



Figura 6.3.2.2.6: Ubicación de los SEV realizados por el INA durante el año 2010.

Del análisis de los SEV de la campaña profunda, se confeccionó un perfil geoelectrico del sector. El contar con las medidas de campo permitió reinterpretar los sondeos de mayor interés (4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 16 y 21, Anexo Geofísica/SEV Profundos). Tomando la relación resistividad / litología establecida en la tabla 6.3.2.2.1, se interpretó el mismo generando un perfil geológico (Figura 6.3.2.2.7).

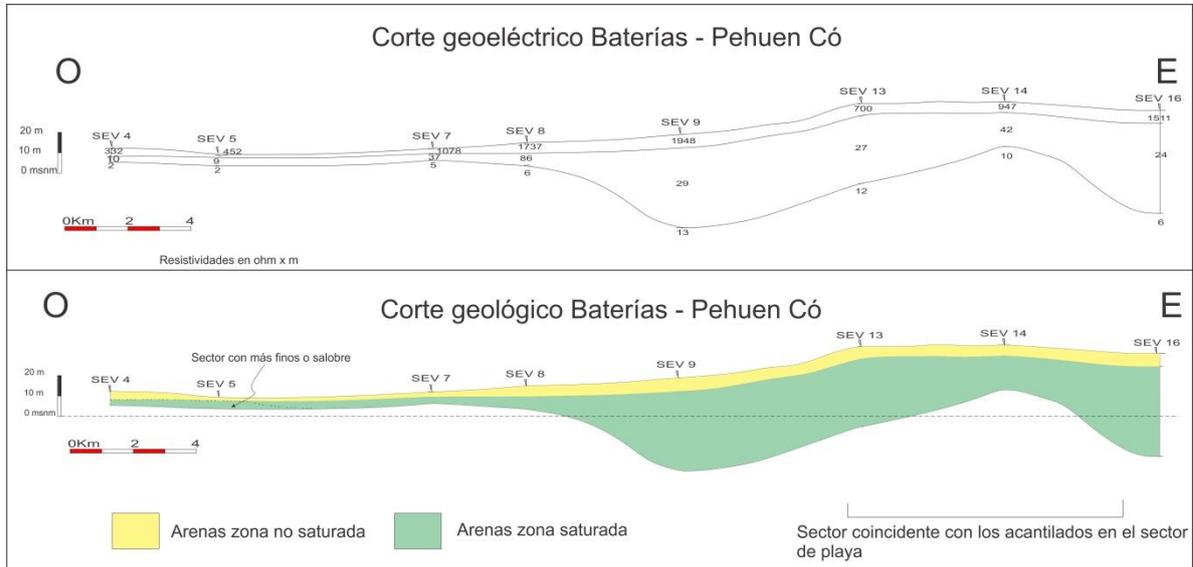


Figura 6.3.2.2.7: Perfil geoelectrico y geológico del área Baterías Pehuen-Có.

El perfil muestra un acuñaamiento de las arenas de este a oeste. El sector con mayor espesor de arenas en zona saturada se encuentra en el SEV 16, con 49 m. El promedio del espesor saturado con agua dulce es de 25,5 m. Los SEV 13 y 14 muestran una elevación del sustrato conductivo, coincidente con el sector de playa acantilada en el frente costero donde afloran la Fm. Monte Hermoso (sedimentos pampeanos).

En el sector oeste del perfil se interpreta en profundidad un espesor de arenas finas y/o arcillosas con agua salobre, coincidente con el límite de sectores de marismas y antiguas planicies de marea, actualmente inactivas. Los SEV 4, 5 y 7, realizados sobre un camino en el límite marisma/duna, permiten interpretar un espesor de arenas que no supera los 10 m.

Para el sector oeste del área, en proximidades de la ciudad de Punta Alta y al norte del de la marisma, se realizó una TRE de 235 m en el sector medanoso (Figura 6.3.2.2.8).

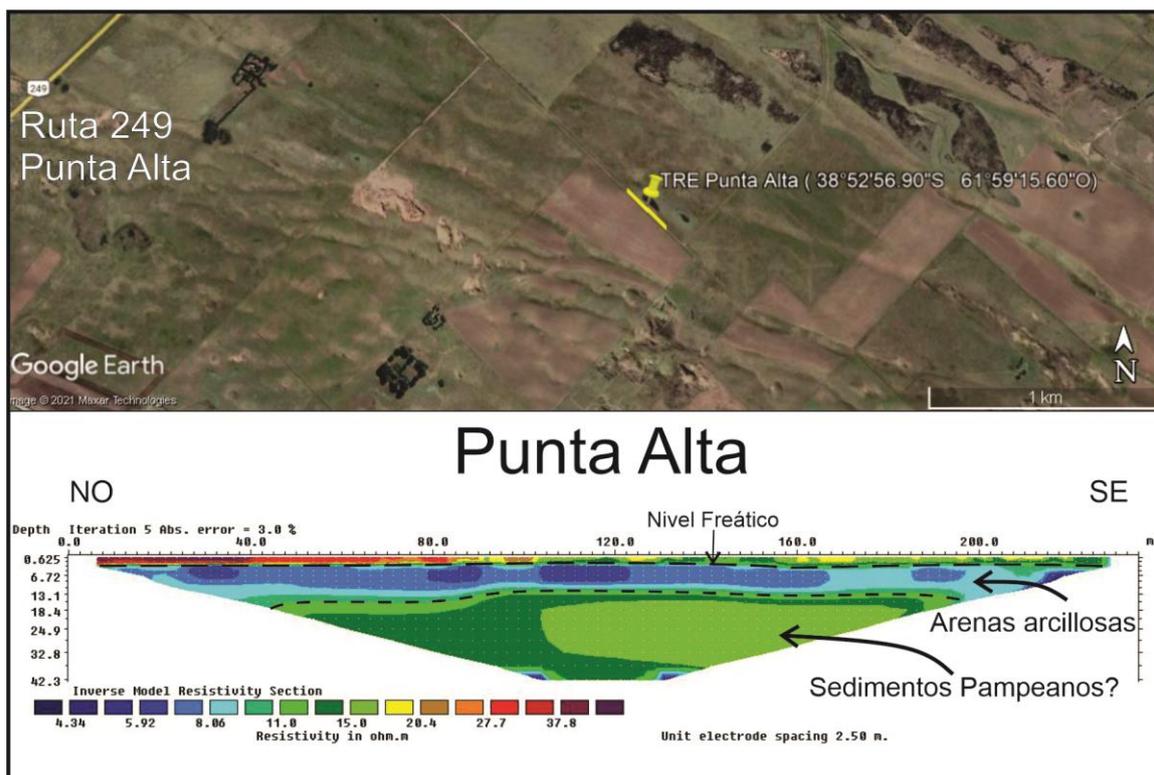


Figura 6.3.2.2.8: Ubicación de la TRE e interpretación de la imagen de resistividad eléctrica.

La particularidad de esta TRE es la presencia de un nivel conductivo (ρ promedio de $8 \Omega.m$) entre los 2 m y 13 m debajo del nivel del terreno, no reconocido en las otras TRE realizadas en la cadena de médanos.

Debido a que las perforaciones existentes en el sector, que alumbraban dicho nivel, extraen agua dulce ($1500/1800 \mu S/cm$), se procedió a obtener muestras de sedimento mediante la utilización de una "Pala Helix", con el fin de analizar el factor litológico en la respuesta eléctrica (Figura 6.3.2.2.9).

Los sedimentos que componen los primeros 3 m de la columna estratigráfica (límite útil de la pala helix empleada) corresponden a arenas medias a finas, mal seleccionadas, con un importante contenido de arcillas blanquecinas. A partir de los 2 m bajo el nivel del terreno se reconoció el nivel freático, siendo evidente la presencia de arcillas en el sedimento por el comportamiento plástico del mismo.

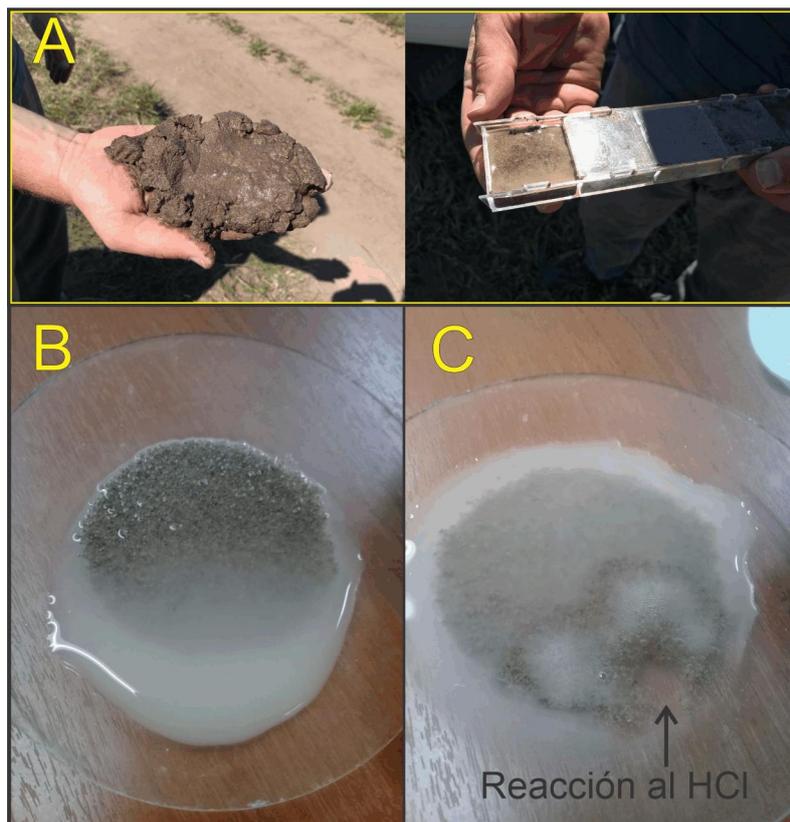


Figura 6.3.2.2.9: Sedimentos del sector de Punta Alta. A) Arenas arcillosas correspondientes a 2,5 m debajo del nivel del terreno. B) Arenas arcillosas con agua, obsérvese la coloración blanquecina del agua al concentrar la fase fina del sedimento. C) Reacción al HCL (10%).

En laboratorio se pudo observar que, si bien las arenas presentan una mineralogía similar al resto de las observadas en el cordón costero, se evidencia un alto contenido de arcillas blanquecinas y de textura pulverulenta en seco. La muestra reaccionó rápida y enérgicamente al agregarle ácido clorhídrico (al 10%), haciendo evidente un elevado contenido de carbonatos.

De esta manera la conductividad eléctrica del nivel analizado podría deberse, en mayor medida, a factores litológicos y no a la salinidad del agua alojada en el acuífero.

El límite inferior del nivel conductivo da paso a valores de resistividad más elevados, en torno a los 12 -15 Ω .m. Estos son interpretados como sedimentos pampeanos, a partir de su comportamiento resistivo y la correlación del techo de la Formación en distintas perforaciones de la zona.

El contenido fino carbonatico de las arenas analizadas podría deberse a un retrabajo de los sedimentos pampeanos, los cuales suelen presentar niveles de carbonatos o "tosca" en su techo.

Durante el año 2019 se llevaron a cabo campañas geofísicas con el objetivo de realizar tomografías de resistividad eléctrica (TRE) en el sector del balneario Pehuen-Có.

En el sector norte, camino de ingreso al balneario, se realizó una TRE sobre el límite de la cadena de médanos y la llanura pampeana para identificar el contacto entre las arenas del cordón costero y los sedimentos pampeanos y post pampeanos en profundidad (Figura 6.3.2.2.10).

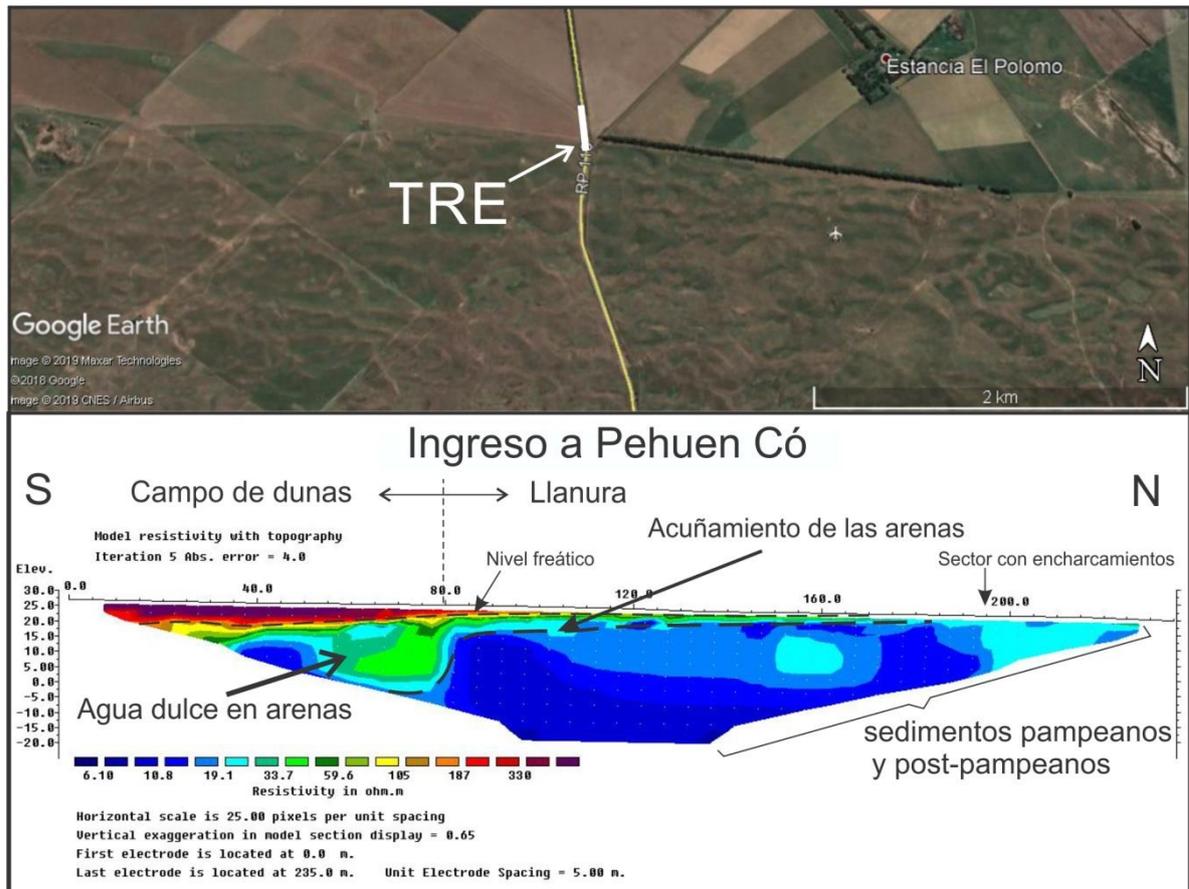


Figura 6.3.2.2.10: Ubicación de la TRE (Wenner) en el ingreso a Pehuen-Có e interpretación de la imagen de resistividad eléctrica.

En este sector se observan resistividades que varían de 6 hasta más de 300 Ω .m. Desde el extremo sur hacia el norte se aprecia un acuñaamiento de los niveles resistivos entre 20 Ω .m a 330 Ω .m. Debajo de estos, se ubican sectores con resistividades entre 6 y 19 Ω .m.

Se interpreta como zona no saturada a los niveles más resistivos (mayores a 150 Ω .m, colores rojos y morados), coincidentes en superficie con las arenas secas del cordón medanoso. El acuñaamiento observado es interpretado como niveles arenosos portadores de agua dulce, mientras que los sectores más conductivos (gama

de azules) son interpretados como sedimentos post-pampeanos y pampeanos portadores de agua con mayor salinidad que la alojada en las dunas.

De esta manera es posible observar un acuñaamiento de las arenas del cordón costero sobre los depósitos de la llanura pampeana, coincidente con lo apreciado en los SEV del sector norte de Monte Hermoso (ver figura 6.3.2.2.2). El espesor saturado máximo en arenas es de aproximadamente 20 m.

En el límite norte del ejido urbano del balneario Pehuen-Có se realizó otra TRE con una extensión de 235 m. Para su análisis e interpretación se contó con descripciones litológicas de pozos del sector, tomándose en cuenta los datos brindados por perforistas locales sobre las particularidades del área (Figura 6.3.2.2.11).

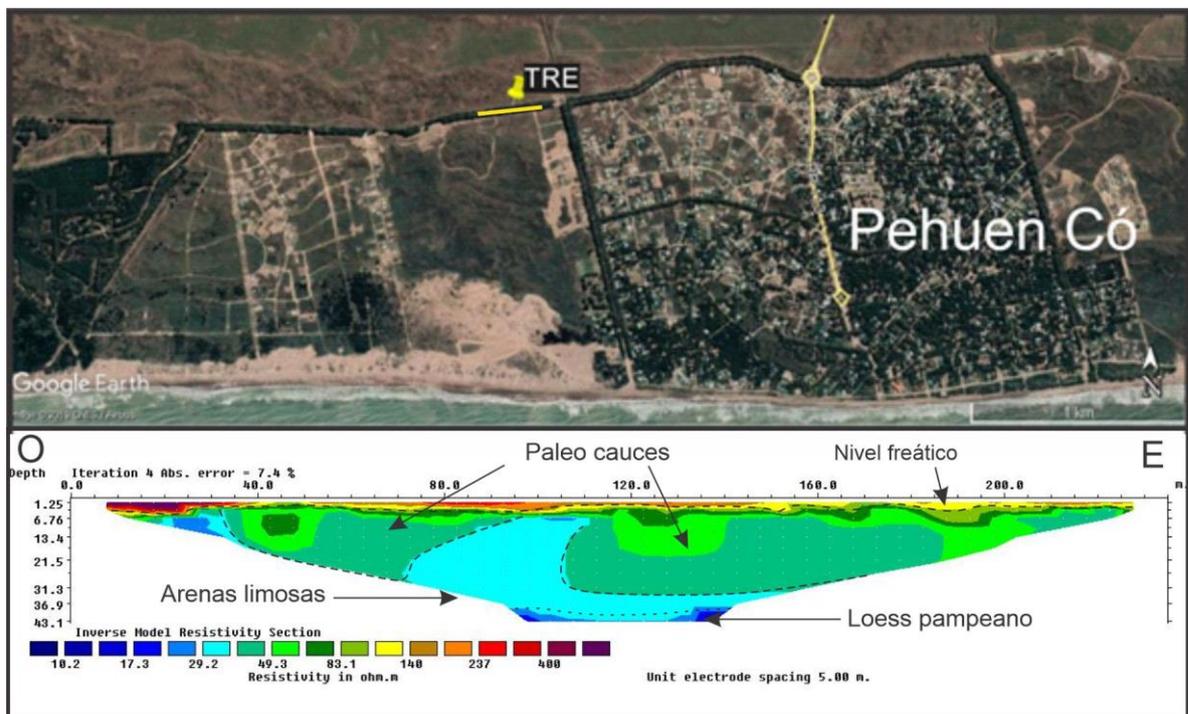


Figura 6.3.2.2.11: Ubicación e interpretación de la TRE realizada en Calle Trolon, Pehuen-Có.

La TRE, de orientación este-oeste tuvo una profundidad de exploración de aproximadamente 46 m. Las resistividades variaron entre 10 y 500 Ω .m.

El sector más superficial y resistivo (ρ mayores a 150 Ω .m) se interpretó como zona no saturada, la cual posee un espesor promedio de 3 m. Por debajo de ésta y hasta los 40 m de profundidad se identificaron resistividades comprendidas entre 25 y 120 Ω .m. Dichas resistividades configuran la zona saturada y pueden ser correlacionadas con niveles de arenas gruesas (mayores resistividades) y arenas con

mezcla de limo (menores resistividades) coincidentes con las descripciones litológicas de perforaciones cercanas. Los niveles inferiores, con resistividades menores a 20 Ω .m son interpretadas como parte de los sedimentos pampeanos, descriptos en las perforaciones del sector a profundidades similares (a partir de los 40 m).

Esta interpretación de resistividades, sumada a las formas que quedan expuestas en la imagen de resistividad eléctrica, permiten inferir una serie de paleo cauces compuestos por arenas gruesas, ocasionalmente gravas, sobrepuestos a los sedimentos más finos. Esta interpretación es coincidente con los afloramientos de gravas y arenas gruesas en el sector de playa y con la información obtenida de perforistas locales, los cuales confirman la existencia de estos niveles gruesos (arenas gruesas y gravas cuarcíticas) en profundidades similares a las expuestas en la TRE.

En el sector este de Pehuen-Có se realizó otra TRE, a 300 m de la línea de pleamar. La misma, de 235 m de extensión, alcanzó una profundidad de exploración de 42 m (Figura 6.3.2.2.12).

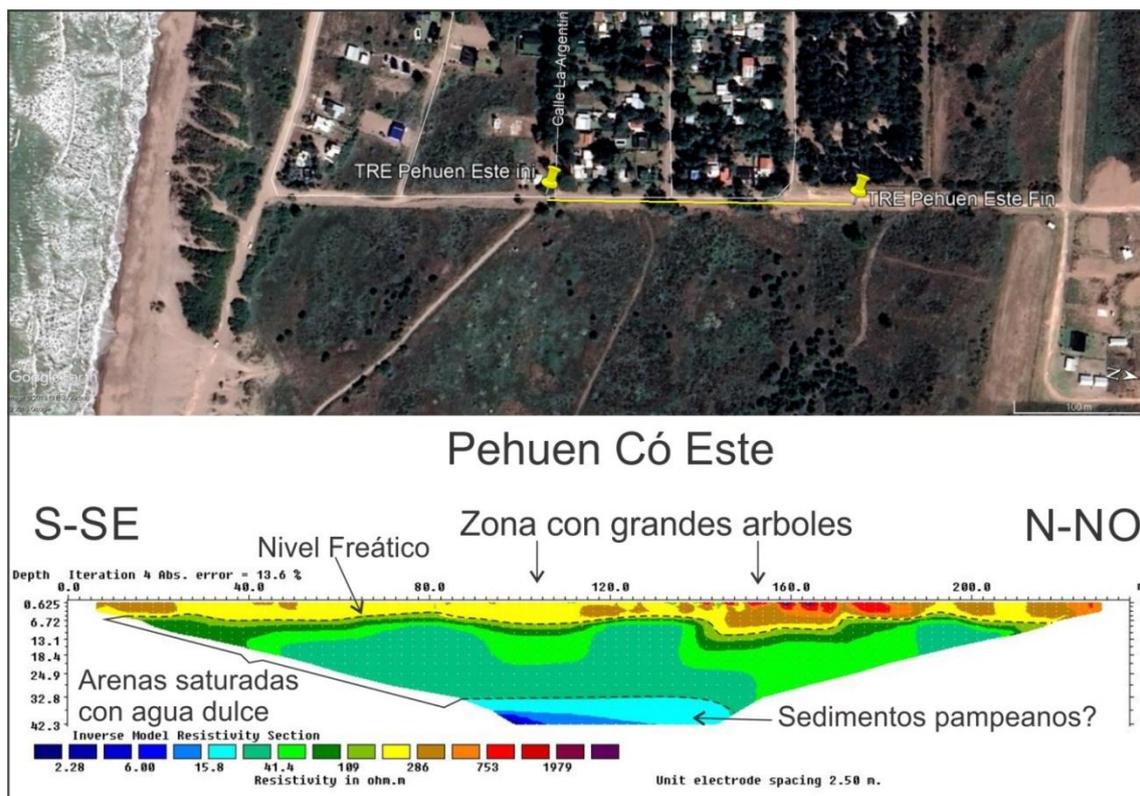


Figura 6.3.2.2.12: Ubicación de la TRE e imagen de resistividad eléctrica.

Se identificó la zona no saturada, con resistividades mayores a 109 Ω .m, con una potencia promedio de 3 m. La zona saturada presenta resistividades entre 109 y 2

$\Omega.m$, interpretándose los valores entre 109 y 20 $\Omega.m$ (tonos verdes en la Figura 6.3.2.2.12) como arenas saturadas con agua dulce, mientras que los valores inferiores a 20 $\Omega.m$ fueron interpretados como litologías más finas, correlacionables con los sedimentos pampeanos. El espesor de arenas saturadas con agua dulce rondaría, en promedio, los 26 m.

Al observar la figura se aprecia que el nivel freático no se presenta como una línea recta, sino que posee sectores ondulados. Estos son coincidentes con montes (hasta 40 m de longitud) de olmos y coníferas adultas (entre 12 y 15 m de altura), los cuales generarían una depresión del nivel freático al captar agua de la zona saturada por medio de sus raíces.

En el sector oeste de Pehuen-Có (barrio Pueblo Darwin), se realizó una TRE a 140 m de la línea de pleamar. La misma se inició sobre la parte posterior del médano frontal y culminó a 235 m. Debido al relieve del sector se efectuaron correcciones topográficas al procesar la TRE (Figura 6.3.2.2.13).

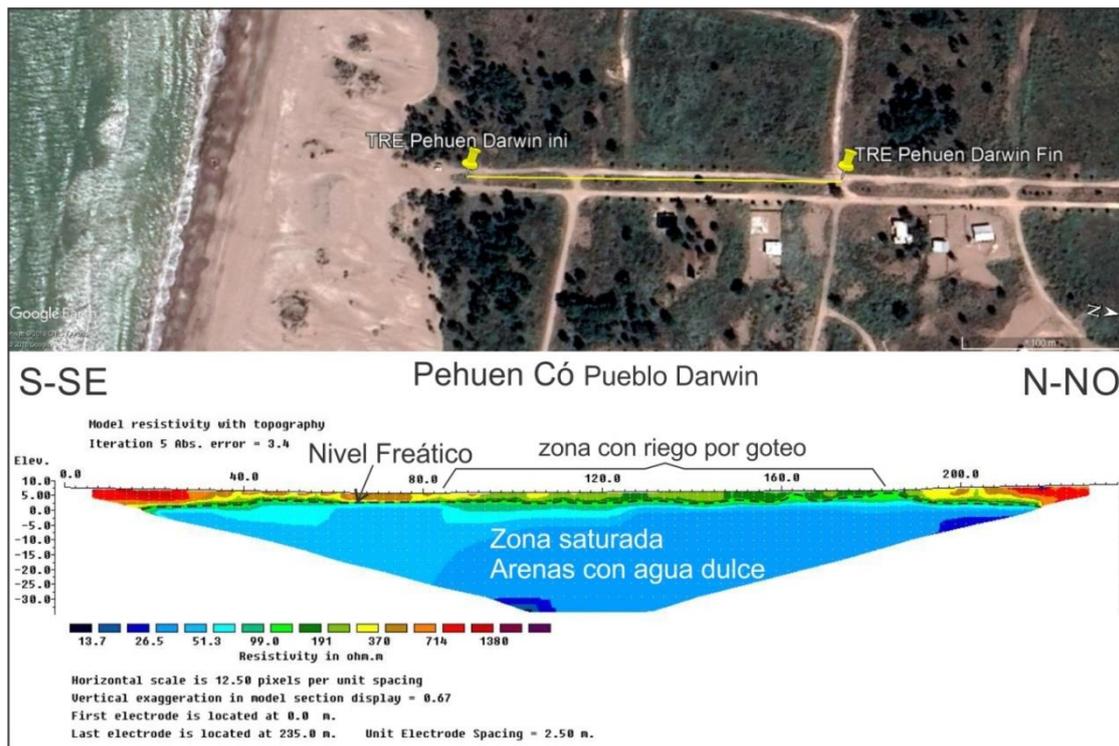


Figura 6.3.2.2.13: Ubicación de la TRE Pehuen-Có - Pueblo Darwin e imagen de resistividad eléctrica.

Las variaciones de resistividad observadas comprenden un rango entre 13 y 1400 $\Omega.m$. La zona no saturada, con valores de resistividad superiores a 150 $\Omega.m$ posee un espesor variable entre 2 y 5 m, pudiéndose diferenciar los sectores con

arenas secas (tonos rojos) de los sectores más húmedos (tonos verde oscuro) coincidentes con una línea de riego por goteo.

La zona saturada, en tonos verdes claros y celestes, posee resistividades entre 13 y 150 Ω .m. La imagen de resistividad eléctrica muestra una zona saturada homogénea con una resistividad promedio de 50 Ω .m. La misma se interpreta como arenas saturadas en agua dulce, con un espesor promedio de 35 m.

6.3.2.3 Geometría del cuerpo acuífero

Los datos analizados permiten apreciar un acuñamiento progresivo de las arenas acuíferas en el límite norte de la cadena de médanos. El mismo comportamiento se observa en el límite sur, para el área urbana de la base Baterías, donde se identificó una morfología geoeléctrica compatible con un sector de mezcla o cuña salina (resistividades de 0,8 a 3 Ω .m). Los trabajos de geofísica realizados tanto en el frente costero de Pehuen-Có como en Monte Hermoso no lograron exponer dicha situación, mostrando en sectores próximos al litoral, espesores de arenas saturadas en agua dulce que superan los 30 m. Sin embargo es indudable la existencia de una zona de mezcla en el frente costero.

En el sector central del cordón medanoso la potencia de las arenas acuíferas aumenta hasta máximos de 45 m en la zona Baterías Pehuen-Có, con promedios que rondan los 35 m. La potencia del acuífero disminuye hacia el este, tomando un promedio de 19 m para el sector Monte Hermoso (con máximos de 35 m) y hacia el oeste, con un promedio de 25 m para el área urbana de la base Baterías.

El sector oeste, en proximidades de la ciudad de Punta Alta y sobre el ingreso a la base Baterías, posee como particularidad la presencia de una lengua o planicie de mareas inactiva que divide en dos la cadena de médanos. Los datos geofísicos analizados muestran una disminución de la resistividad y de los espesores de arena en las proximidades a dicho ambiente.

El sector comprendido entre la costa litoral y la planicie presenta un espesor de arenas saturadas con agua dulce de 25 m en promedio, el cual se acuña y disminuye hacia el norte y sur. Los datos obtenidos del área al norte de la planicie indican espesores saturados levemente inferiores, en torno a los 15 / 10 m.

El análisis geofísico del hidroapoyo permite observar que el mismo no es del todo plano. En sentido norte sur posee un pendiente promedio de 0,4% con leves ondulaciones. El análisis oeste-este expone una superficie levemente irregular,

existiendo un alto en el sector de la base Baterías (SEV 14 de la campaña INA) coincidente con los afloramientos de la Fm. Monte Hermoso en el frente costero acantilado. Tanto hacia el oeste como al este del alto se registran sectores posiblemente erosionados, configurando bajos en el hidroapoyo, con pendientes entre 0,4% a 0,7%, donde el espesor del acuífero freático es máximo.

6.4 Referencias bibliográficas

Auge, M. (2004). Regiones hidrogeológicas. República Argentina y provincias de Buenos Aires, Mendoza y Santa Fe. 104 p

Ameghino, F. (1884). Las secas y las inundaciones en la Provincia de Buenos Aires. Obras de retención no de desagüe, M. A. A. de la Provincia de Buenos Aires, 1884-1984.

Albouy R., Carrica, J. y Bonorino, G. (2005). Identificación y análisis del fenómeno de drenaje diferido en sedimentos pampeanos. Cuenca del Arroyo Napostá Chico, Provincia de Buenos Aires. IV Congreso Argentino de Hidrogeología Actas, Tomo I: 261- 268.

Albouy, R., Carrica, J.C., Lexow, C., Lafont, D. y Bonorino A.G. (2011). Abastecimiento de agua a Bahía Blanca. Ubicación y diseño de la batería de pozos de explotación de agua subterránea. VII Congreso Argentino de Hidrogeología y V Seminario Hispano Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea. Acta Resúmenes 57 pp. ISBN 978-987-27407-1-9.

Bonorino, G. (1988). Geohidrología del sistema hidrotermal profundo de la región de Bahía Blanca. Tesis doctoral. Biblioteca Central UNS. 289 p. Inédita.

Bonorino, A.G. y Panarello, H.O. (1984). Isótopos estables del oxígeno en aguas subterráneas del acuífero de Bahía Blanca. Asociación Geológica Argentina, Revista: XXXIX (1 - 2): 107-117.

Bonorino, A.G. (2005). Acuíferos profundos e hidrotermalismo. En: R.E. de Barrio, R.O. Etcheverry, M.F. Caballé y E. Llambías (Edit.) Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino. La Plata. Cap. XX: 327-346.

Calvetty Amboni, B. y Giusso, M. (1990). Evaluación del recurso hídrico subterráneo en la región costera atlántica de la provincia de Buenos Aires. Tomo III, prospección geoelectrica, informe final. Convenio CFI – UNLP. En: En: CFI, 1992. Acuíferos costeros de la Provincia de Buenos Aires, sector Punta Rasa-

- Punta Médanos. Parte 1, hidrogeología, hidrodinámica e hidráulica. Serie Investigaciones Aplicadas.
- Código Alimentario Argentino. Capítulo XII, Bebidas hídricas, agua y agua gasificada. Agua Potable.
- Di Martino, C., Albouy, R., Cifuentes, O., Marcos, A. (2014). El acuífero libre costero de Monte Hermoso, Argentina. Generalidad. Recurso y reserva. Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. 33, 43-50.
- DYMAS, (1974). Dirección de yacimientos, minería y aguas subterráneas. Convenio CFI-MOP-MAA provincia de Buenos Aires. Contribución al mapa geohidrológico de la provincia de Buenos Aires. Escala 1:500.000. (Inédito).
- EdiUNS. (2005). Geoambiente y evaluación de las aguas freáticas del Partido de Coronel Dorrego (Provincia de Buenos Aires). Editorial de la Universidad Nacional del Sur (EdiUNS). Capítulos I y III. Juan Darío Paoloni y Magdalena González Uriarte Editores.
- García, J y García, O. M. E. (1964). Hidrogeología de la región de Bahía Blanca (Provincias de Buenos Aires y La Pampa). Boletín N° 96, Dirección Nacional de Geología y Minería, Ministerio de Economía de la Nación.
- González, N. (2005). Los ambientes hidrogeológicos de la provincia de Buenos Aires. Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congr. Geológ. Argentino. Cap. XXII: 359-374. La Plata.
- González Arzac, R.; Vizcaíno, A.; Campos Alfonso, F. (1992). Acuíferos costeros de la provincia de Buenos Aires; sector Punta Rasa - Punta Médanos, parte I, hidrogeología, hidrodinámica e hidráulica. Buenos Aires; CFI; (Serie investigaciones aplicadas, 4) 36 p
- Hernández, M.A., Auge, M.P., Filí, M.F. y Ceci, J.H. (1975). Geohidrología de los acuíferos profundos de la provincia de Buenos Aires. 6° Congreso Geológico Argentino (Bahía Blanca), Actas 2: 435-456, Buenos Aires.
- INA. (2011). Relevamiento geoeléctrico en las inmediaciones de la Base Naval Puerto Belgrano. Inédito.
- Isla, F., Cortizo, L. y Turno Orellano, H. (2001). Dinámica y evolución de las barreras medanosas, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Revista Brasileira de Geomorfología, 2(1): 73-83.

- Lerman, J. C. (1968). Agua subterránea en Bahía Blanca. Ciencia e investigación, 24 (7): 315-319.
- Limbozzi, F., Bonorino, A.G., Avena, M.J. (2008). Hidrogeoquímica de flúor y arsénico en un acuífero loésico regional del sudoeste de la provincia de Buenos Aires. Congreso; V Congreso Iberoamericano de Física y Química Ambiental, Mar del Plata, Argentina.
- Pandolfi, C. L. (1950). Contribución al conocimiento hidrogeológico de la zona de Bahía Blanca (Buenos Aires). Informe inédito D.N.G y M. Buenos Aires.
- Santa Cruz, J.N., Silva Busso, A. (1999). Escenario hidrogeológico General de los Principales Acuíferos de la Llanura Pampeana y Mesopotamia Septentrional Argentina. II Congreso Argentino de Hidrogeología y IV Seminario Hispano Argentino sobre Temas Actuales en Hidrología Subterránea, Actas Tomo I, pag 461-473, Tucumán, Argentina.
- Sala, J. M. (1975). Recursos hídricos (especial mención de las aguas subterráneas). VI Congreso Geológico Argentino. Geología de la provincia de Buenos Aires. Relatorio: 169-194. Buenos Aires.
- Sala, J.M., González, N. y Kruse, E. (1983). Generalización Hidrológica de la Provincia de Bs. As. Coloquio Internacional Sobre Hidrología de Grandes Llanuras. Comité Nacional para el Programa Hidrológico Internacional, Olavarría, Argentina.
- SASBA. (1976). Estudio hidrogeológico para la provisión de agua subterránea potable a la localidad de Monte Hermoso, Partido de Coronel Dorrego, Provincia de Buenos Aires, (Inédito).
- Valdez S. y A. Silva Busso. (2016). Aspectos hidrogeológicos de la zona costera entre Pehuén-Có y Punta Alta, Prov. de Buenos Aires. IX Congreso Argentino de Hidrogeología Catamarca, Argentina, 2016. pág 79-86
- Wichmann, R. (1918). Geología e Hidrogeología de Bahía Blanca y sus alrededores (Provincia de Buenos Aires). Anales del Ministerio de Agricultura. Sección Geología, Mineralogía y Minería, 13 (1): 1-67.
- Zambrano, J.J. (1980). Comarca de la cuenca cretácica del Colorado. 2° Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias, 1033-1070. Córdoba.

Capítulo 7

HIDRÁULICA SUBTERRÁNEA

7.1 Introducción

La capacidad de las rocas o sedimentos de almacenar y transmitir agua, permitiendo su extracción en cantidades económicamente rentables para el ser humano, es lo que las define como un cuerpo acuífero (Custodio y Llamas, 1983). La forma de conocer estas características es a través de sus parámetros hidráulicos. Para cuantificarlos se llevan a cabo diferentes ensayos o pruebas, tanto en laboratorio como en campo.

7.2 Cálculos de parámetros hidráulicos

7.2.1 Determinaciones en laboratorio

Como primera opción para obtener un valor de los parámetros hidráulicos se optó por la construcción y análisis de curvas granulométricas. Estas curvas, son el resultado gráfico del análisis granulométrico de las partículas que componen un material sedimentario. A partir de ellas es posible calcular, entre otras cosas, la permeabilidad o conductividad hidráulica utilizando fórmulas empíricas.

La utilidad de esta metodología, mucho más económica que un ensayo de bombeo, es la de permitir una primera aproximación sencilla y rápida a los valores de conductividad hidráulica.

El análisis granulométrico se realizó sobre una muestra de arena de duna correspondiente al frente costero de la base Baterías. También se analizó la granulometría de distintos niveles arenosos, correspondientes a perforaciones efectuadas en la ciudad de Monte Hermoso (SASBA, 1976) (Figura 7.2.1).

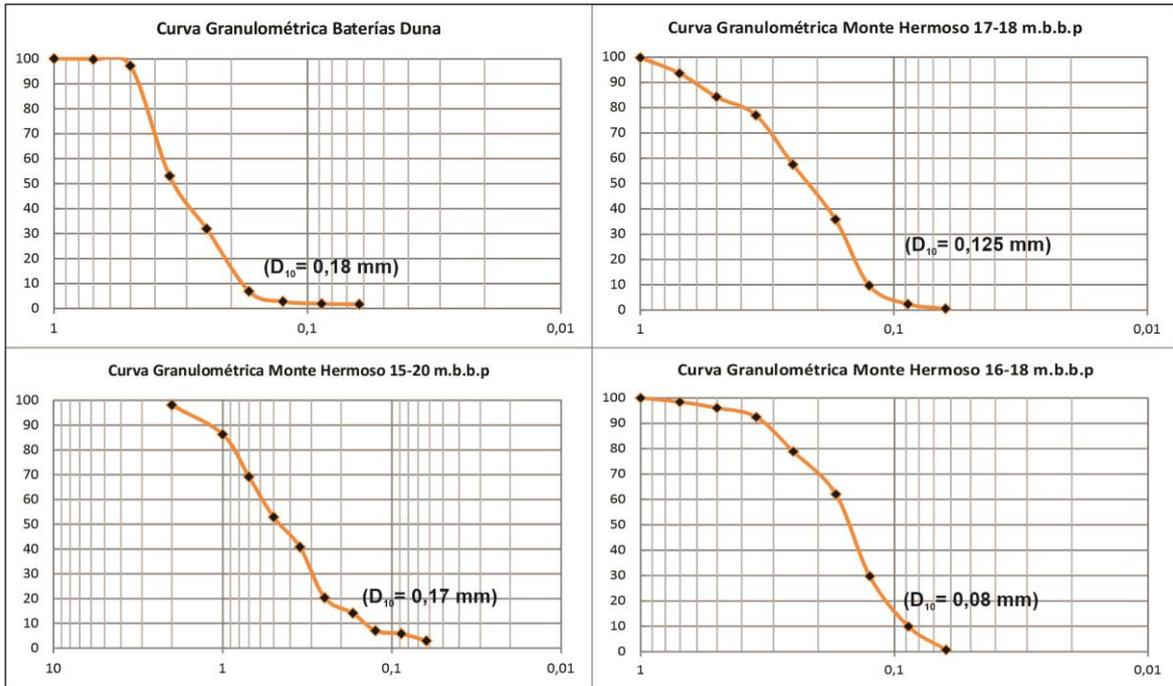


Figura 7.2.1: Curvas granulométricas de la Base Baterías y Partido de Monte Hermoso.

Para el cálculo de la conductividad hidráulica se aplicó la fórmula de Hazen la cual establece:

$$K_0 = c * d_e^2 \quad (\text{cm/seg})$$

Donde **c** es una constante la cual puede variar su valor entre 45,8 para arenas arcillosas y 142 para arenas puras. Se aconseja tomar un valor de 100, siendo el rango normal entre 90 y 120 (Custodio y Llamas, 1983). Mientras que **d_e** es el diámetro equivalente o **D₁₀** en la curva granulométrica.

Para K_0 en cm/seg, a 20°C y d_e en cm resulta:

Para la arena de duna:

$$K_0 = 100 * (0,018)^2$$

$$K_0 = 0,0324 \text{ cm/seg} = \mathbf{28 \text{ m/día}}$$

Para muestras de perforación de Monte Hermoso

Nivel de arena fina a muy fina (16-18 m.b.b.p)

$$K_0 = 100 * (0,0088)^2$$

$$K_0 = 0,0077 \text{ cm/seg} = \mathbf{6,7 \text{ m/día}}$$

Nivel de arena fina (17-18 m.b.b.p)

$$K_0 = 100 * (0,0125)^2$$

$$K_0 = 0,0156 \text{ cm/seg} = \mathbf{13,5 \text{ m/día}}$$

Nivele de arena fina (17-18 m.b.b.p)

$$K_0 = 100 * (0,017)^2$$

$$K_0 = 0,0289 \text{ cm/seg} = \mathbf{25 \text{ m/día}}$$

De esta manera, las muestras analizadas califican como acuíferos buenos a regulares en la clasificación del terreno según rangos de permeabilidad o conductividad hidráulica (Custodio y Llamas, 1983).

7.2.2 Determinaciones en campo

Las determinaciones en campo son las más usuales. Para ello se realizan ensayos de bombeo en perforaciones existentes o construidas a tal fin. Estos suelen consistir en la extracción de un caudal de agua conocido durante un tiempo determinado, mientras se miden los descensos del nivel dinámico, tanto en el pozo de explotación como en piezómetros adyacentes.

Los datos antecedentes sobre ensayos de bombeo y sus resultados, realizados en distintas localidades costeras ubicadas en el cordón medanoso, son expuestos en la tabla 7.2.2.1.

Tabla 7.2.2.1: Resultados de los ensayos de bombeo antecedentes.

Autor	Lugar	T (m ² /d)	S	K (m/d)	Q (m ³ /h)	Método	Nivel Ensayado en el acuífero freático medanoso
SASBA 1976	Monte Hermoso	311	0,01	s/d	18	Theis	Arenas eólicas- Arenas con conchilla
SASBA 1976		172	0,0097	s/d	20,5	Theis	
SASBA 1976		387	0,018	s/d	18	Jacob	
SASBA 1976		355	0,0078	s/d	20,5	Jacob	
SASBA 1976		62	0,011	s/d	6,54	Theis	
SASBA 1976		58	0,011	s/d	6,54	Jacob	
AGOSBA 1990 en Di Martino 2014		160	0,2	s/d	22	Neuman (drenaje Diferido)	Arenas eólicas- Arenas con conchilla
AGOSBA 1990 en Di Martino 2014	43	?	s/d	23			
Valdez 2016	Baterías	1062,3	s/d	s/d	9,82	Recuperación	Arenas "limpias"
Valdez 2016		896,33	s/d	s/d	3		
Rodriguez Capítulo 2015	Pinamar	130	0,15	8 a 12	6,5	Neuman / Theis	Arena Fina
Rodriguez Capítulo 2015		70	0,001	10 a 20	6,5	Neuman / Theis	Arena media
Santa Cruz y Silva Busso 2001	Nueva Atlantis	213	0,21	s/d	40	Neuman (drenaje Diferido)	s/d
Santa Cruz y Silva Busso 2001		355	0,05	s/d	45		s/d
DIGMAS 1985 (En CFI 1992)	San Clemente del Tuyú	150	0,12	7,1	s/d	s/d	s/d
COPUAP 1983 (En CFI 1992)	Punta Médanos	1265	0,025	80	s/d	Jacob	s/d

Analizando los datos antecedentes, los valores de transmisividad (T) obtenidos varían entre 1265 m²/día y 43 m²/día. Si no se tiene en cuenta los valores extremos el promedio da como resultado 190 m²/día, coincidente con la media para los ensayos realizados en el Partido de Monte Hermoso (194 m²/día).

El coeficiente de almacenamiento (S) promedio es de 0,06, resultando algo bajo para un acuífero libre de composición psamítica. Es posible que parte de estos ensayos hayan sido realizados sobre niveles levemente semiconfinados. Los valores de S más consistentes para un acuífero libre, compuesto por arenas son los obtenidos

por Santa Cruz y Silva Busso (2001), Di Martino (2014) y Rodríguez Capítulo (2015) con 0,21, 0,20 y 0,15 respectivamente.

Los valores de conductividad hidráulica (k) varían entre 80 m/día y 8 m/día.

De los trabajos anteriormente analizados, el de Santa Cruz y Silva Busso (2001) resulta el más completo, por tratarse de dos ensayos de bombeo de larga duración (16 y 9 días respectivamente).

Durante el año 2019 se llevó a cabo un ensayo de bombeo, a caudal constante y régimen variable, en el sector del balneario Sauce Grande, partido de Monte Hermoso. El sitio del ensayo se encuentra sobre el cordón costero medanoso, a 10 km al este del límite del área de estudio.

La perforación tuvo una profundidad de 12 m, siendo esta entubada con cañería ciega de PVC los primeros 3,5 m y con cañería filtro, de similar material, los 8,5 m restantes. Distante a 4,22 m de dicha captación, se construyó un piezómetro de 6 m de profundidad, entubado en su totalidad con cañería filtro de PVC ranurado.

Las características geológicas del perfil atravesado por la perforación corresponden a intercalaciones de arenas con niveles de arenas arcillosas (Figura 7.2.2.1).

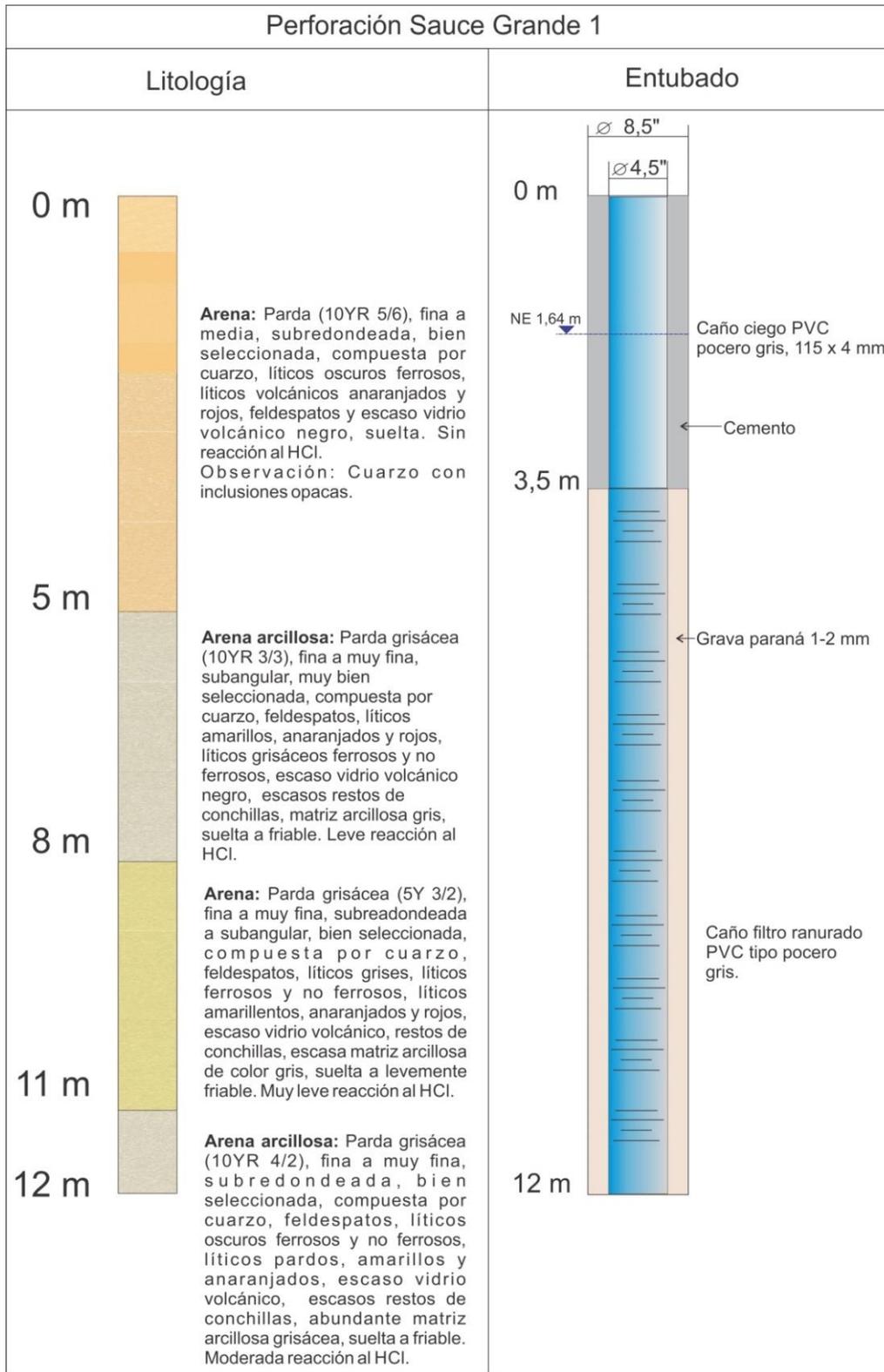


Figura 7.2.2.1: Perfil geológico y especificaciones constructivas de la perforación ensayada.

Para la realización del ensayo se contó con una electrobomba sumergible de 12 HP, alimentada por un generador externo. La duración del mismo fue de 4 horas, hasta constatar la estabilización del nivel dinámico en el pozo de observación, durante

las cuales se bombeo un caudal constante de 12.800 L/h, midiéndose los descensos en el piezómetro a intervalos preestablecidos (Figura 7.2.2.2). Se constató que, previo al bombeo el nivel freático se encontraba a 1,64 m.b.b.p. El fluido extraído fue derivado por medio de una manguera plástica lejos de la captación para evitar una recarga a partir del agua en superficie.

	Ensayo de bombeo a régimen variable: Sauce Grande, Partido de Monte Hermoso. Viernes 8 de Noviembre 2019		
	Caudal constante de bombeo Q = 12.800 Litros /Hora. Nivel estático: 1,64 m		Distancia pozo de bombeo pozo de observación: 4,22 m
Hora de inicio	Tiempo en minutos desde el inicio del bombeo	Nivel dinámico	Descensos s (m)
11:19	0,5	1,66	0,02
Obs: Pozo Sauce Grande 1. 38º 59'02,7" S 61º 13'11,2" O Profundidad final: 12 m. Cañería ciega primeros 3,5 m. Caño filtro ranurado hasta los 12 m	1	1,695	0,055
	1,5	1,71	0,07
	2	1,73	0,09
	2,5	-	-
	3	1,745	0,105
	3,5	1,75	0,11
	4	1,75	0,11
	4,5	1,74	0,1
	5	1,745	0,105
	6	1,755	0,115
	7	1,765	0,125
	8	1,765	0,125
	9	1,78	0,14
	10	1,785	0,145
	12	1,8	0,16
	14	1,81	0,17
	16	-	-
	18	1,82	0,18
	20	1,825	0,185
	25	1,85	0,21
	30	1,865	0,225
	35	1,875	0,235
	40	1,89	0,25
	45	1,9	0,26
50	1,91	0,27	
55	1,915	0,275	
60	1,925	0,285	
70	1,93	0,29	
80	1,94	0,3	
90	1,94	0,3	
100	1,94	0,3	
110	1,94	0,3	
120	1,94	0,3	
135	1,94	0,3	
150	1,945	0,305	
165	1,95	0,31	
180	1,96	0,32	
200	1,975	0,335	
220	1,985	0,345	
240	1,995	0,355	

Figura 7.2.2.2: Planilla de descensos del ensayo de bombeo.

Dadas las características del sector y de la perforación se cumplen las siguientes premisas:

- Durante el ensayo fue la única perforación en funcionamiento en el área.
- Datos geológicos del sector dan cuenta que a los 13 m.b.b.p se encuentra un paquete de arcillas plásticas, por lo que el pozo se puede considerar totalmente penetrante y con base horizontal.
- El acuífero posee gran extensión y no se identificaron pantallas ni cuerpos de agua superficiales que pudieran generar una recarga inducida por el bombeo.

A partir del gráfico de los descensos vs tiempo (Figura 7.2.2.3), es posible observar tres tramos diferenciados por su pendiente. Esta configuración de la curva coincide con las gráficas obtenidas en ensayos efectuados sobre acuíferos con drenaje diferido (Walton, 1960).

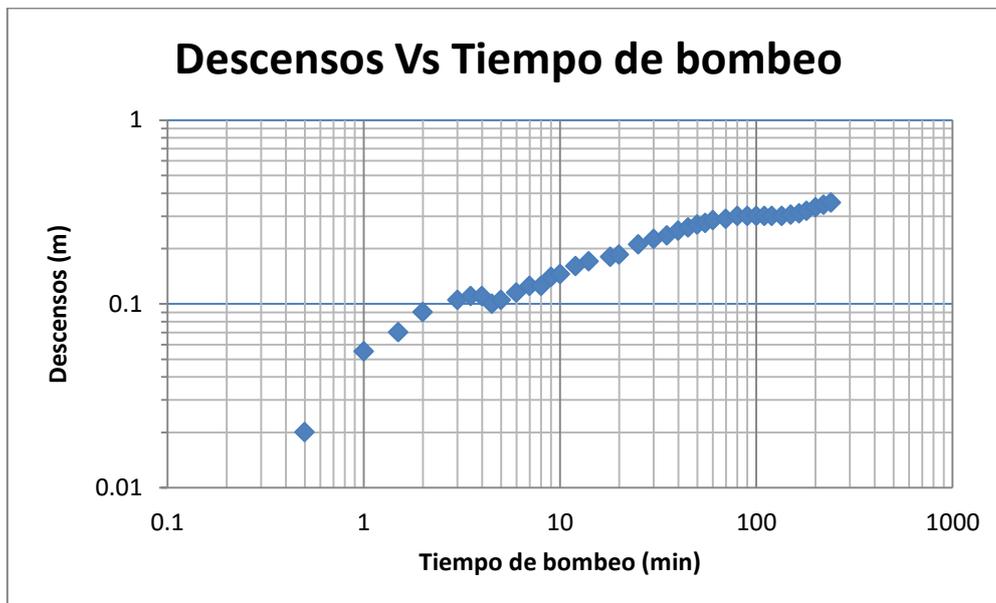


Figura 7.2.2.3: Curva de campo obtenida en el ensayo.

De esta manera no es posible aplicar la metodología de Theis (1935), debido a que un ajuste del primer tramo con la curva patrón, donde el acuífero reacciona como confinado, permitiría calcular la transmisividad (T) pero resultaría en valores erróneos para el coeficiente de almacenamiento (S). El segundo tramo refleja una recarga, producto de la liberación tardía de agua por los sedimentos finos de la columna. El tercer tramo expone un comportamiento compatible con las curvas de Theis (1935), donde es posible calcular el coeficiente de almacenamiento.

La metodología aplicada para la interpretación de este ensayo es la de Neuman (1972) para drenaje diferido. Para la interpretación del ensayo se utilizó el Software Aquifer Test [versión 2.5] desarrollado por Waterloo Hydrogeologic, Inc. (Ontario, Canadá).

La aplicación de la metodología antes mencionada permitió un ajuste para el primer tramo de la curva de campo con el primer tramo de la curva patrón, obteniendo así un valor de **T de 217 m²/día**. (Figura 7.2.2.4).

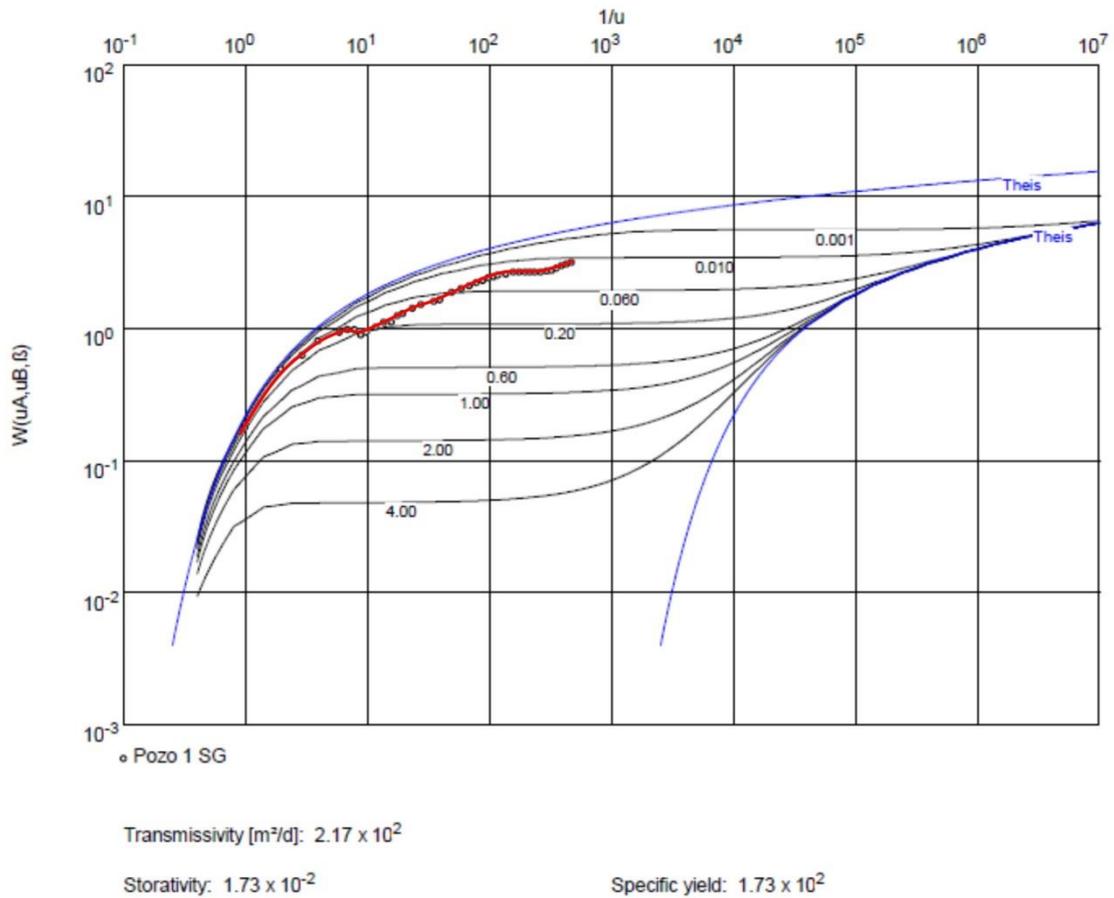


Figura 7.2.2.4: Ajuste del primer tramo de la curva de campo con la curva patrón.

El ajuste del tercer tramo permitió obtener un valor de **S de 0,21** (porosidad eficaz de 21 %) (Figura 7.2.2.5).

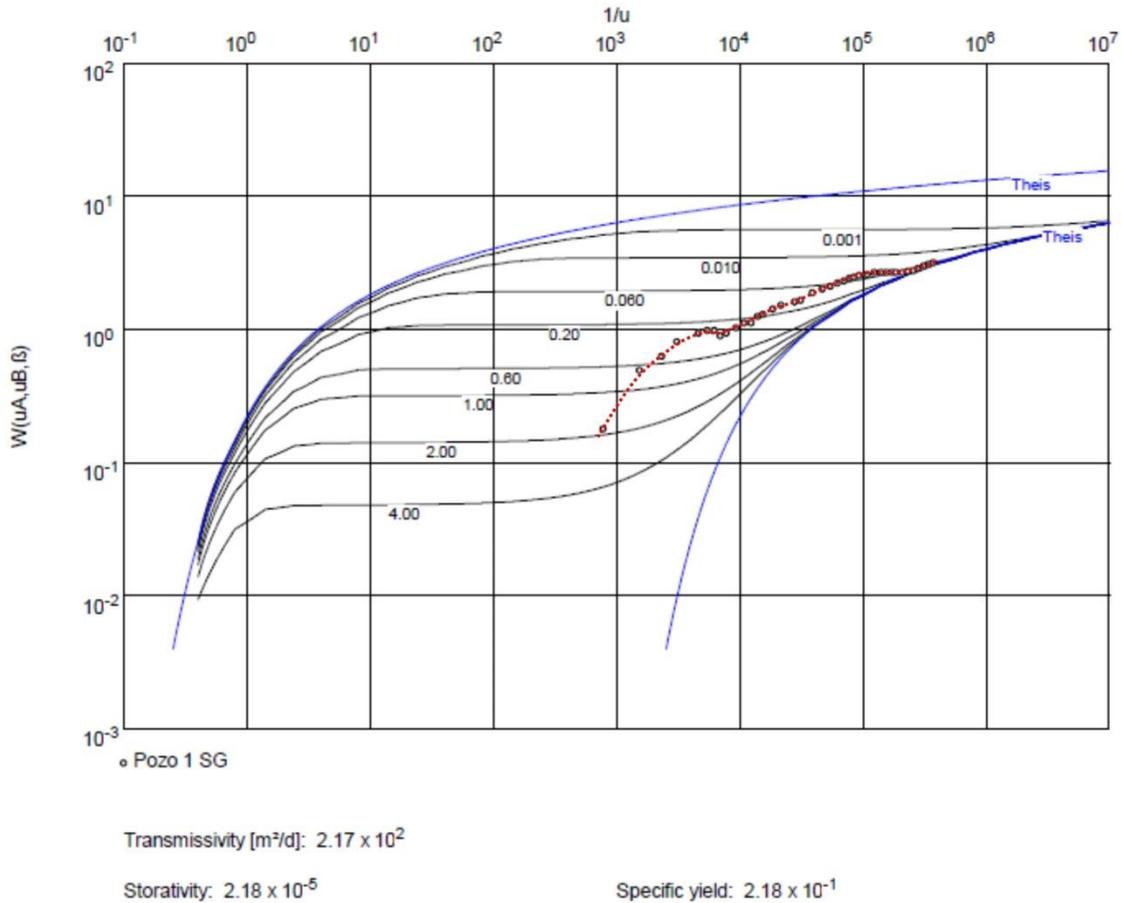


Figura 7.2.2.5: Ajuste del tercer tramo de la curva de campo con la curva patrón.

A partir del valor de T y conociendo el espesor saturado (b) es posible calcular el valor de la conductividad hidráulica (k) a partir de la siguiente ecuación:

$$k = T / b \quad [7.2]$$

$$k = 21 \text{ m/día}$$

Los valores obtenidos a partir de este ensayo son coherentes para el tipo de acuífero analizado, siendo la $T = 217 \text{ m}^2/\text{día}$, $S = 0,21$ y $k = 21 \text{ m/día}$.

7.3 Referencias bibliográficas

AGOSBA. (1990). "Evaluación de la batería de pozos de agua de la localidad de Monte Hermoso con fines de implementación del servicio de agua corriente". Administración General de Obras Sanitarias. Provincia de Buenos Aires. Informe interno. 16 Pág. Y anexos (inédito). En: Di Martino, C. 2014. Sustentabilidad del recurso hídrico subterráneo de Monte Hermoso, provincia

- de Buenos Aires, República Argentina. UTN. Tesis de Maestría. http://www.edutecne.utn.edu.ar/tesis/tesis_Di_Martino_FRBB.pdf
- COPUAP. (1983). Análisis y evaluación de los ensayos de bombeo realizados en Punta Médanos, Municipio Urbano de la Costa, Provincia de Buenos Aires. En: CFI, 1992. Acuíferos costeros de la Provincia de Buenos Aires, sector Punta Rasa-Punta Médanos. Parte 1, hidrogeología, hidrodinámica e hidráulica. Serie Investigaciones Aplicadas.
- Custodio y Llamas. (1983). Hidrología subterránea. Segunda edición, ediciones Omega S.A, Barcelona, España.
- DIGMAS. (1985). Evaluación y diagnóstico de las obras de captación de agua pertenecientes a la Cooperativa de Provisión de Obras y Servicios Públicos de San Clemente del Tuyú. Propuesta de manejo. (Inédito). En: CFI, 1992. Acuíferos costeros de la Provincia de Buenos Aires, sector Punta Rasa-Punta Médanos. Parte 1, hidrogeología, hidrodinámica e hidráulica. Serie Investigaciones Aplicadas.
- Di Martino, C. (2014). Sustentabilidad del recurso hídrico subterráneo de Monte Hermoso, provincia de Buenos Aires, República Argentina. UTN. Tesis de Maestría. http://www.edutecne.utn.edu.ar/tesis/tesis_Di_Martino_FRBB.pdf
- Neuman, S. P. (1972). Theory of Flow in Unconfined Aquifers Considering Delayed Response of the Water Table. *Water Resources Research*, 8: 1031 –45
- Rodríguez Capítulo, L. (2015). Evaluación geohidrológica en la región costera oriental de la provincia de Buenos Aires, Caso de estudio Pinamar. UNLP Tesis Doctoral, repositorio digital UNLP, <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/49965>.
- Santa Cruz J y Silva Busso, A. (2001). Elementos Hidrodinámicos para la Protección de Acuíferos en Cordones Medanosos en la Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista del ITGE, Misterio de Ciencia y Tecnología, Madrid, España.*
- SASBA. (1976). Estudio hidrogeológico para la provisión de agua subterránea potable a la localidad de Monte Hermoso, Partido de Coronel Dorrego, Provincia de Buenos Aires, (Inédito).
- Theis, C.V. (1935). The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage, *Am. Geophys. Union Trans.*, vol. 16, pp. 519-524.

Valdez, S., P. (2016). Características hidrogeológicas de la zona costera entre Pehuénco y Punta Alta, Provincia de Buenos Aires. Trabajo final de Licenciatura. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. https://hdl.handle.net/20.500.12110/seminario_nGEO001069_Valde.

Walton, W., C. (1960). Application and limitation of methods used to analyze pumping test data. Water Well Journal (February-March).

Capítulo 8

HIDRODINÁMICA

8.1 Introducción

El modelo hidrodinámico del acuífero freático se definió a partir de datos obtenidos durante los censos de puntos de agua realizados para este trabajo. Para ello se planificaron campañas de campo donde fue posible identificar 48 captaciones de agua subterránea, midiéndose la profundidad del nivel freático en 43 de las mismas, lo que arroja una densidad de muestreo de 1 punto cada 10 Km². En el área, la explotación del agua subterránea se realiza principalmente a través de bombas de embolo impulsadas por energía eólica (molinos) y por bombas centrifugas eléctricamente accionadas (Figura 8.1.1).



Figura 8.1.1: Captación de agua subterránea a través de un molino en el área de médanos.

La mayoría de las captaciones de agua resultan someras, y no superan los 15 m.b.b.p (metros bajo boca de pozo). Solo en inmediaciones de la localidad de Punta Alta, se ha podido reconocer que la profundidad, está condicionada por el aumento

salino del agua. Los datos recolectados se interpretaron en conjunto con observaciones realizadas tanto en campo como en gabinete, a través de imágenes satelitales y mapas topográficos confeccionados a tal fin.

Las zonas dominadas por médanos arenosos poseen ciertas características hidrodinámicas distintivas. Los sedimentos psamíticos sueltos o escasamente consolidados favorecen la rápida infiltración de las aguas de lluvia, debido a su alta porosidad y permeabilidad, impidiendo de esta manera la generación de redes de drenaje relacionadas al escurrimiento superficial. Es así que un alto porcentaje del agua infiltrada en el terreno consigue convertirse en recarga que alimenta al acuífero freático.

El estudio del movimiento del agua subterránea en estos ambientes debe tener en cuenta la escala del análisis. Las particularidades del sector, el tipo de depósito y la topografía determinan dos sistemas de flujo subterráneo superpuestos: uno somero de carácter local y otro más profundo de carácter regional.

La topografía de los campos de dunas, con sectores altos y bajos, continuos y sucesivos, posibilita el desarrollo de un flujo local íntimamente relacionado con los rasgos superficiales. El nivel freático que suele encontrarse a menos de 5 m de profundidad, tiende a copiar al topográfico de forma suave, reconociéndose domos con flujos radiales divergentes hacia los sectores de interduna. Es en estos sectores topográficamente deprimidos, donde el nivel freático suele aflorar generando lagunas intermitentes también llamados ojos de agua. (Figura 8.1.2).

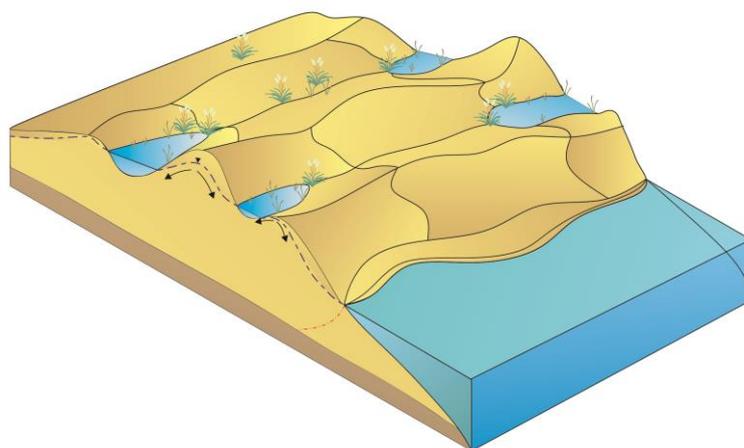


Figura 8.1.2: Esquema del flujo local en el campo de dunas.

El flujo regional, más profundo que el anterior, responde a las pendientes heredadas del sector de peniplanicie o llanura pampeana. Estas pendientes, en su

mayoría de bajo grado, generan una dirección de flujo natural desde el sector norte hacia el sector sur, descargando finalmente en el mar argentino. Estudios realizados en el partido de Coronel Dorrego (EdiUNS, 2005) y en el sector denominado cuenca de Bahía Blanca por el Consejo Federal de Inversiones (1993) confirman la dirección de flujo del acuífero freático regional en el sector de llanura (Figura 8.1.3).

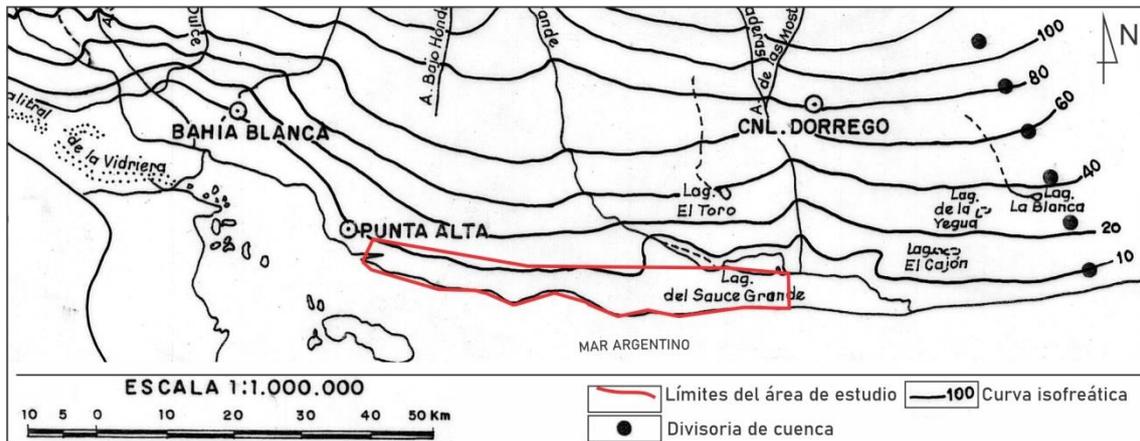


Figura 8.1.3: Mapa isofreático de la región Bahía Blanca. Modificado de CFI (1993).

El modelo hidrodinámico del acuífero indica que en el límite norte, el agua que proviene de la llanura, con mayores tenores salinos, se encuentra con el agua del acuífero medanoso de menor salinidad, generando una zona de mezcla (interfaz) entre los dos tipos de agua. Lo mismo ocurre en el sector sur, donde el agua dulce del acuífero medanoso se encuentra con el agua del mar, generando la interfaz y zona de mezcla que separa los dos tipos de agua. Los diferentes sistemas de flujo subterráneo, sobreimpuestos, implican un tiempo de permanencia del agua en el acuífero proporcional a su recorrido (Figura 8.1.4).

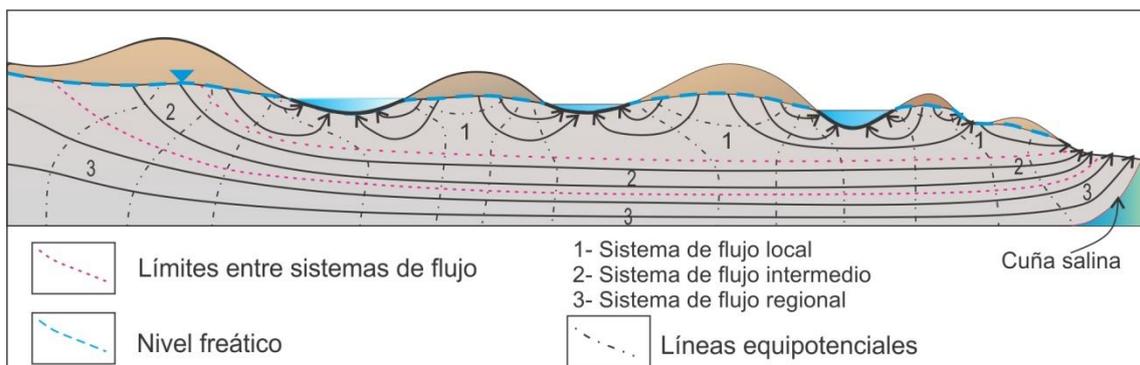


Figura 8.1.4: Diagrama de flujo local, intermedio y regional.

8.2 Morfología de la superficie freática

Como primer paso para conocer la morfología de la superficie freática del área de estudio, se confeccionó un mapa de líneas isopiezas. De este modo se identificaron las divisorias de agua subterránea, se realizó el trazado de la red de flujo, se calcularon distintos gradientes hidráulicos y se diferenciaron las zonas de recarga, tránsito y descarga del acuífero. Como ya fue mencionado, se contó con un total de 43 mediciones directas de la profundidad del nivel freático, realizadas entre junio y diciembre del año 2018, lo que arroja una densidad de 1 punto de agua censado cada 10 km². Sumado a ello, los datos se completaron con puntos de afloramiento del nivel freático observados en campo y a través de imágenes satelitales para el mismo período, junto con los cuerpos de agua permanentes (lagunas) existentes en el sector norte. Estos cuerpos lagunares se ubican en el límite entre la llanura pampeana y el cordón medanoso. En el sector oeste se encuentra la laguna Unamuno, que actúa como nivel de base final del arroyo Napostá Chico. En el sector este se ubica la laguna Sauce Grande, alimentada por el Río Sauce Grande en el oeste, presentando una desembocadura en su margen este por la que el río continúa su camino hacia el mar.

De las 43 medidas de la profundidad al nivel freático, el 70% no supera los 5 m.b.b.p (Figura 8.2.1), dando un promedio de espesor para la zona no saturada de 5,17 m. Si tenemos en cuenta los afloramientos del nivel freático observados, el promedio desciende a 4,25 m.

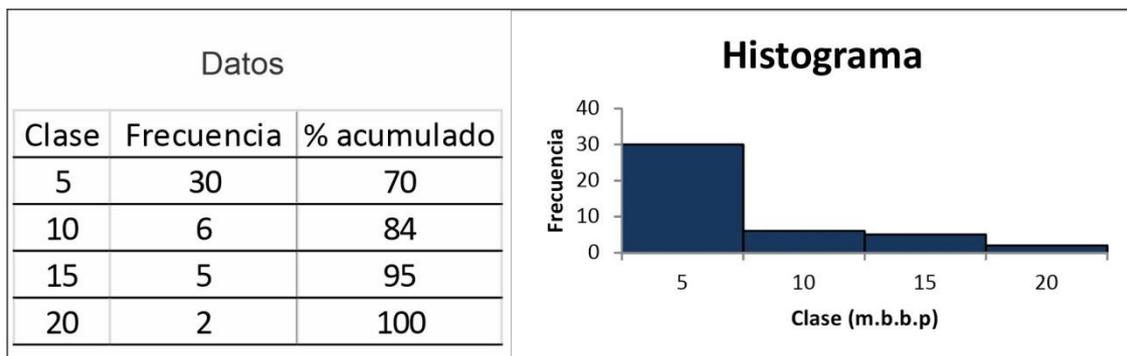


Figura 8.2.1: Histograma de frecuencia correspondiente a las medidas de la profundidad del nivel freático. La clase indica el intervalo en metros bajo boca de pozo en la cual se obtuvo la medida.

Los mayores espesores de zona no saturada, que no superan en ningún caso los 20 m, son coincidentes con sectores topográficamente elevados (Figura 8.2.2).

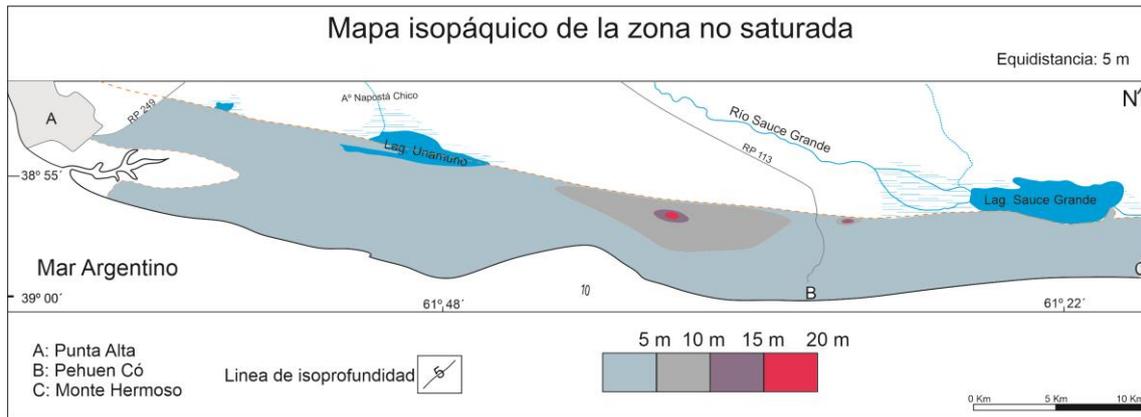


Figura 8.2.2: Mapa isopáquico de la zona no saturada del sector medanoso.

Los niveles piezométricos se calcularon teniendo en cuenta las hojas topográficas del IGM escala 1:50.000, Punta Alta, Punta Tejada, Balneario Pehuen-Co y Balneario Monte Hermoso, sumado a la base topográfica de curvas de nivel elaborada a partir de los datos satelitales SRMT3 (*cf.* capítulo 3). Los puntos obtenidos de esta última fuente se analizaron mediante el software Surfer V.13, utilizando la interpolación "vecino cercano" por ser la que arrojó un resultado más lógico. Así mismo esta interpretación fue mejorada sumando al criterio de interpolación los conocimientos geológicos e hidrogeológicos del área. Los resultados pueden observarse en el mapa isofreático de la Figura 8.2.3.

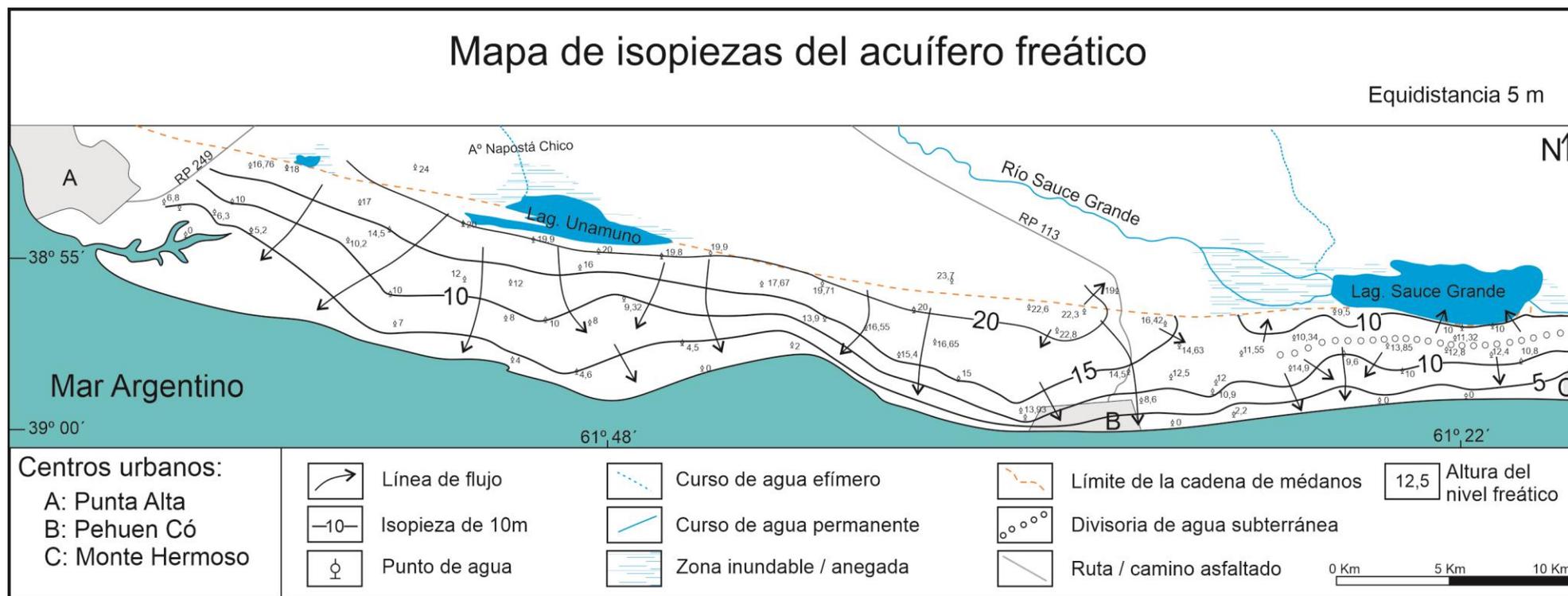


Figura 8.2.3: Mapa de isopiezas (m.s.n.m)

A partir del mapa de isopiezas se distinguen por su comportamiento hidrodinámico, 2 sectores bien diferenciados (Figura 8.2.4). Estos se denominan de oeste a este como; Sector Baterías - Punta Tejada – Pehuen-Có (S1) y sector Laguna Sauce Grande-Monte Hermoso (S2).

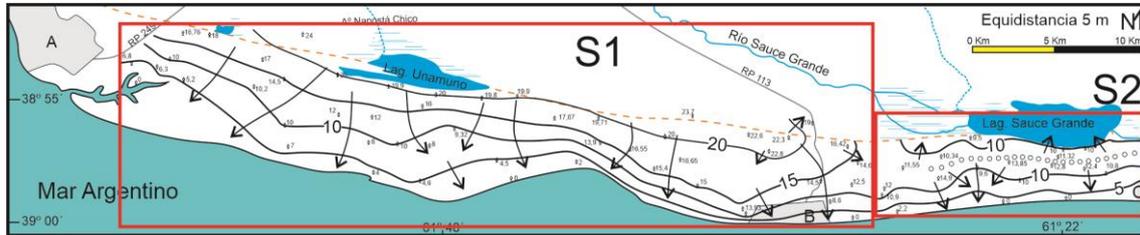


Figura 8.2.4: Sectores del acuífero freático diferenciados por su hidrodinámica.

El sector S1, en su porción oeste, comprende en su mayoría los campos de la Base Naval Baterías. Presenta los valores piezométricos más altos en su porción norte (20 m.s.n.m), coincidentes con la altura del pelo de agua de la laguna Unamuno. Dichos valores disminuyen hacia el sur en dirección al mar, con una pendiente promedio de 0,25 %. Hacia el sur se observa un cambio en la pendiente de la superficie freática, reflejado por un mayor espaciamiento de las líneas isopiezas. Este cambio implica una disminución del gradiente hidráulico, que toma un valor aproximado de 0,15 %. Dichas áreas se comportan como sectores de descarga locales, las que se distinguen por la presencia de abundantes cuerpos de agua en superficie, generados por el afloramiento del nivel freático (Figura 8.2.5).



Figura 8.2.5: Lagunas freáticas en el sector de Base Baterías.

Como complemento para corroborar la ubicación de estas áreas de descarga, se utilizó una imagen satelital multiespectral Sentinel-2 correspondiente al día 04 de Marzo del 2020 (sin precipitaciones). El procesamiento de las distintas bandas de la imagen permitió la confección de un producto NDWI o índice diferencial de agua normalizado. Este índice permite identificar cuerpos de agua y zonas con elevada humedad. En la Figura 8.2.6 es posible observar la coincidencia de las zonas que indican elevada humedad en la imagen NDWI con las zonas de descarga inferidas a partir de la red de flujo subterráneo.

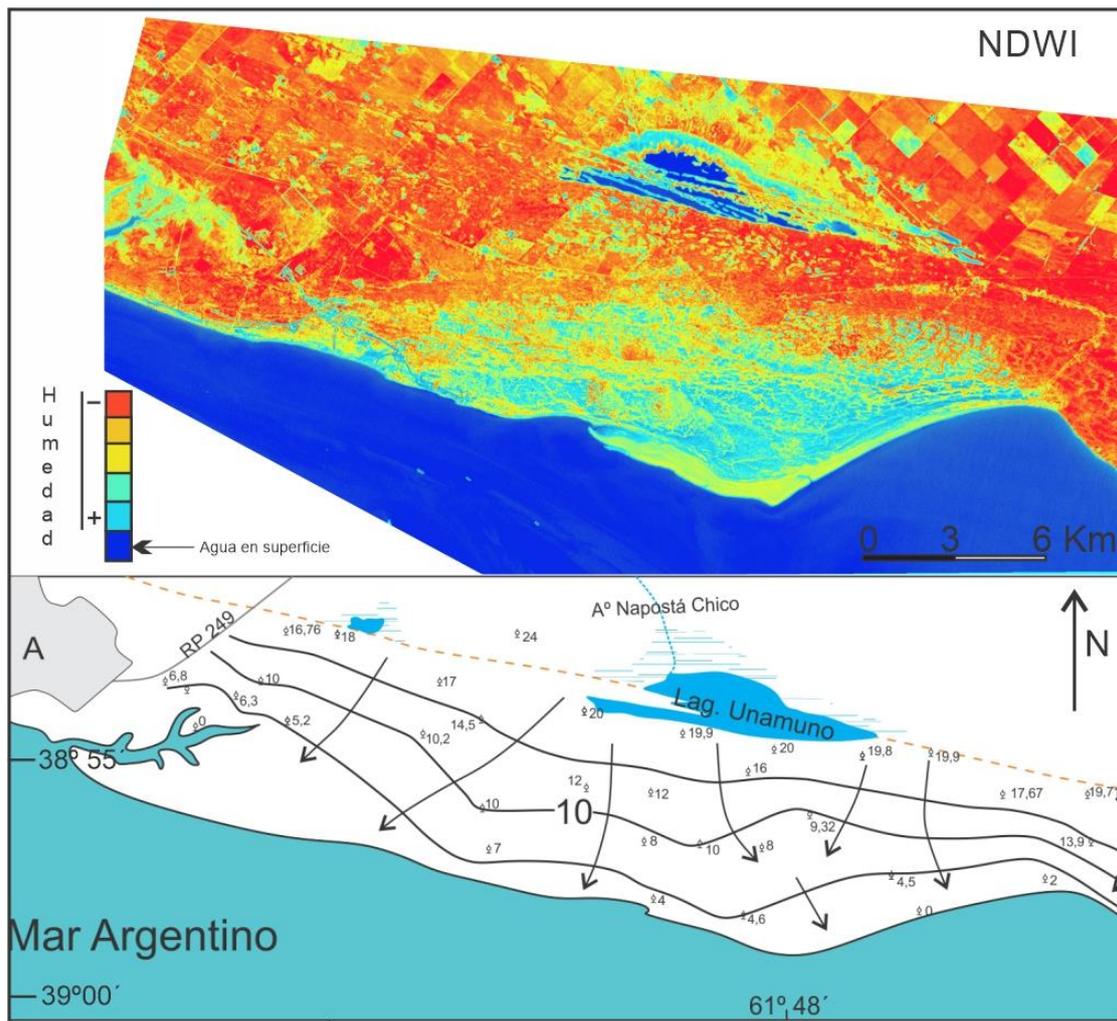


Figura 8.2.6: Imagen NDWI contrastada con el mapa de flujo subterráneo.

La particularidad de este sector es que no se ha podido identificar la presencia (con los datos disponibles) de domos con flujos radiales y divergentes, como era de esperar en un campo de médanos tan extenso. El flujo subterráneo se comporta de manera parabólica cilíndrica (Figura 8.2.7). Teniendo en cuenta la configuración de la superficie freática, no se podría descartar una transferencia de agua desde la laguna

al acuífero. En este supuesto, la diferencia de salinidad entre el agua de la laguna y la del acuífero configurarían una zona de mezcla o cuña salobre, que no ha podido identificarse en campo, por ausencia de puntos de agua. Asimismo, y durante las épocas húmedas, podría verificarse un aporte de agua de flujos someros y locales del acuífero a la laguna.

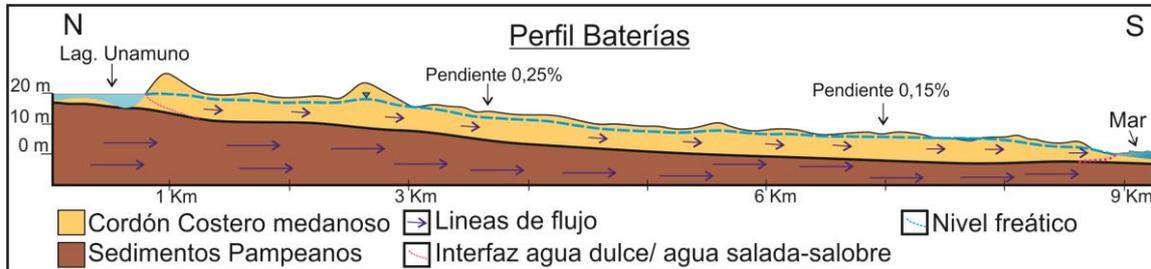


Figura 8.2.7: Perfil hidrodinámico representativo del sector S1, Baterías.

La zona este del sector S1, ubicada entre Punta Tejada y los campos linderos a Pehuen-Có, presenta las mayores alturas del nivel freático en su porción norte, que alcanzan los 23 m.s.n.m. Estos disminuyen paulatinamente en dirección sur con gradientes variables entre 0,40% y 0,31 %.

Próximo al sector costero, en las inmediaciones de Pehuen-Có y el área de la Farola Monte Hermoso, las líneas isopiezas disminuyen su espaciado indicando un aumento en la pendiente del nivel freático cuyo gradiente hidráulico posee valores de 0,56% (Figura 8.2.8). Este cambio de pendiente puede relacionarse a variaciones de la conductividad hidráulica (k), debido a un aumento en la fracción arcilla identificada en los sedimentos analizados (*cfr.* Capítulo 5).

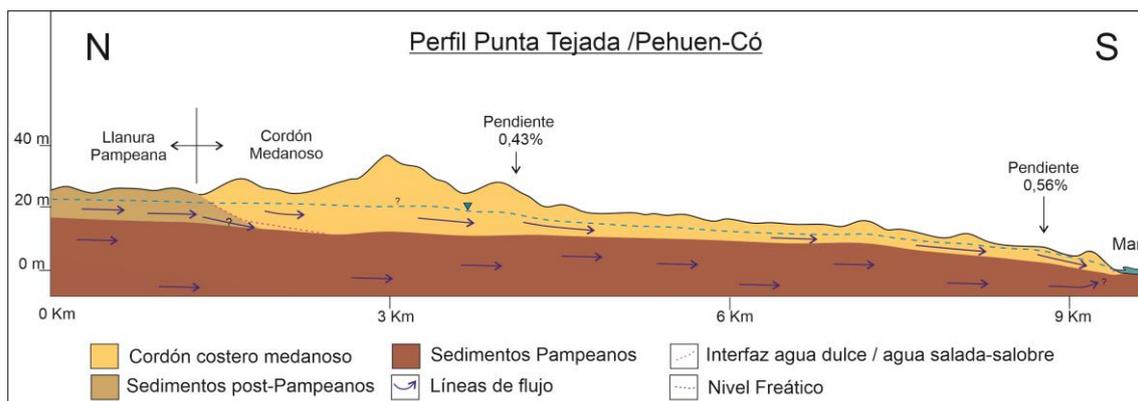


Figura 8.2.8: Perfil hidrodinámico representativo del sector S2, Punta Tejada – Pehuen-Có.

El sector S2, presenta una morfología freática caracterizada por una divisoria de aguas subterráneas de rumbo oeste-este. A partir de esta, el flujo de agua

subterránea toma direcciones opuestas norte-sur, con valores de gradiente hidráulico en torno de 0,31%.

En el sector norte se encuentra la laguna Sauce Grande, la cual a partir del análisis de las líneas de flujo procedentes de los domos es alimentada en parte por el acuífero freático alojado en la cadena de médanos. Hacia el sur las isopiezas se acercan más unas con otras, evidenciando una variación en la pendiente en la superficie freática, que aumenta hasta 0,41%. El flujo posee dirección sur, descargando finalmente en el mar. El sector dominado por la divisoria de aguas actúa como área de recarga preferencial (Figura 8.2.9).

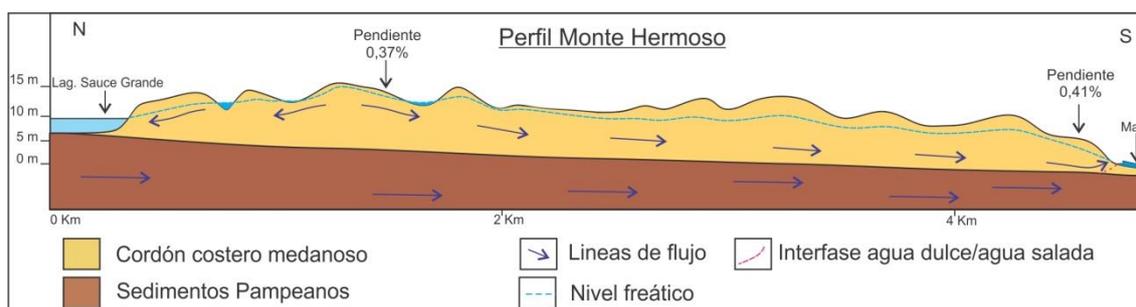


Figura 8.2.9: Perfil hidrodinámico representativo del sector S3, Monte Hermoso.

8.3. Velocidades del flujo subterráneo

Tomando en cuenta los valores de gradiente hidráulico obtenidos anteriormente y los parámetros del acuífero a partir del ensayo de bombeo, un valor de conductividad hidráulica de 21 m/día y un coeficiente de almacenamiento (equivalente a la porosidad eficaz) de 0,21 (cfr. Capítulo 7), es posible calcular la velocidad del flujo subterráneo.

Para el cálculo se utiliza la ecuación de velocidad efectiva derivada de la ley de Darcy, que describe el movimiento del flujo subterráneo en medios porosos. De esta manera la velocidad efectiva o real del flujo es:

$$V_e = K \cdot i / m_e$$

Donde:

V_e : Velocidad efectiva [m/d]

K : Coeficiente de permeabilidad [m/d]

i : Gradiente hídrico [-]

m_e : Porosidad efectiva [-]

La velocidad efectiva (V_e) es directamente proporcional a la conductividad hidráulica (K), al gradiente hidráulico entre los puntos medidos (i) e inversamente proporcional a la porosidad eficaz (m_e).

La aplicabilidad de esta ecuación requiere ciertas pautas de contorno. Para ello se han supuesto como válidas las siguientes premisas:

- El flujo subterráneo es laminar e incompresible.
- El acuífero es homogéneo e isótropo.

De esta manera los valores de velocidad real calculados varían entre 0,53 m/día y 0,14 m/día (Tabla 8.3.1).

Tabla 8.3.1: Valores de velocidad real de flujo subterráneo según las pendientes calculadas para los sectores S1 y S2 del acuífero.

Sector	S1 (O)	S1 (E)	S2
Ve. máxima (m/día)	0,23	0,53	0,39
Ve. mínima (m/día)	0,14	0,40	0,35

Los valores de velocidad efectiva obtenidos son coherentes para el tipo de acuífero analizado y presentan un orden de magnitud que cuadra con las velocidades calculadas por Carretero y Kruse (2010) para la localidad de San Clemente del Tuyu, sector norte de la barrera oriental de médanos costeros y por Bonorino (1979) para la cadena de médanos ubicada en la localidad de Médanos, partido de Villarino.

8.4 Relación entre la morfología freática y la topográfica

El comportamiento del flujo subterráneo y la morfología freática tienen una fuerte relación con la topografía del sector. Observando el mapa topográfico junto con el mapa de isopiezas, para la misma equidistancia, se aprecia la presencia de rasgos coincidentes (Figura 8.4.1).

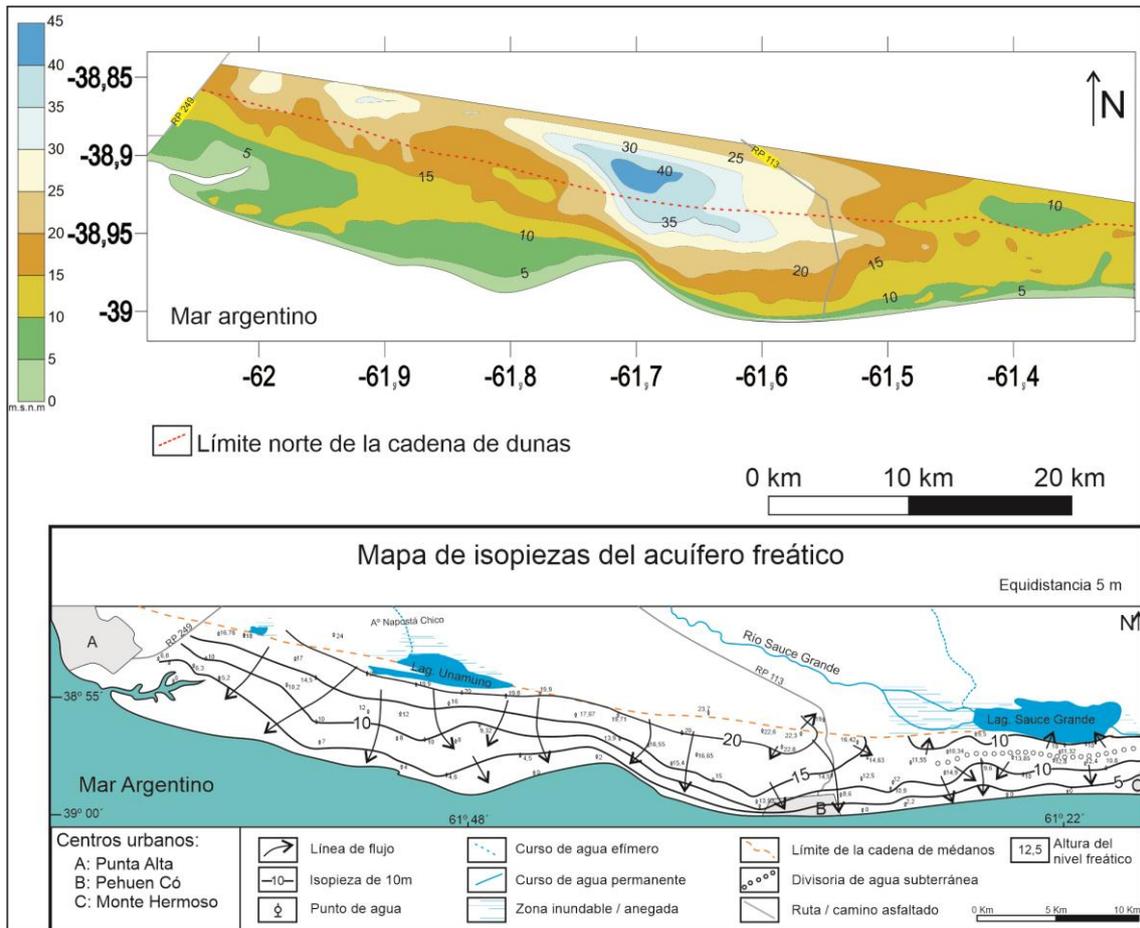


Figura 8.4.1: Mapas topográfico e isofreático del sector estudiado.

El flujo de tipo parabólico cilíndrico encontrado en el sector S1 se puede explicar observando la topografía del  rea. El relieve medanoso del sector se observa escalonado, con las mayores alturas en el norte y las menores en el sur. Si bien existen suaves ondulaciones en el terreno, éstas presentan longitudes de onda mayores que su amplitud (Figura 8.4.2) y de esta manera los rasgos topográficos condicionan la morfología subterránea.



Figura 8.4.2: Sector medanoso de poca pendiente correspondiente a la Base Baterías.

El sector central presenta los rasgos topográficos más marcados. Las mayores alturas se encuentran en el sector norte, en el límite entre el cordón medanoso y la llanura pampeana. La cota más alta corresponde a los 44 m.s.n.m y se ubica en la cima de un gran médano vegetado. Es en este sector donde los gradientes hidráulicos del flujo subterráneo toman mayor valor.

En el sector este, zona Laguna Sauce Grande, los rasgos topográficos son menos pronunciados que en los otros sectores. Las mayores alturas se ubican en el centro del área, disminuyendo hacia el sector de la laguna y el frente marino. La superficie freática copia esta configuración, observándose una divisoria de aguas de rumbo oeste-este en el área central, con flujo subterráneo divergente hacia el norte y el sur de la misma.

A partir de la comparación de los mapas topográficos e hidrogeológicos se aprecia la similitud entre la morfología freática y la topográfica, lo cual explica, en parte, los distintos comportamientos hidrodinámicos identificados en el acuífero freático.

8.5 Fluctuaciones del nivel freático

Las fluctuaciones del nivel freático se registraron por medio de un equipo "data logger" o registrador automático de nivel. El mismo fue instalado en una perforación existente en el vivero municipal del balneario Pehuen-Có, durante el mes de Agosto del año 2019 y retirado en Septiembre del 2021 (el nivel freático inicial se encontraba a 3,59 m.b.b.p). El equipo fue programado para realizar 4 lecturas diarias, completando un total de 4615 medidas de nivel.

Dada la gran cantidad de datos, en primera instancia se analizaron los promedios mensuales (Figura 8.5.1).

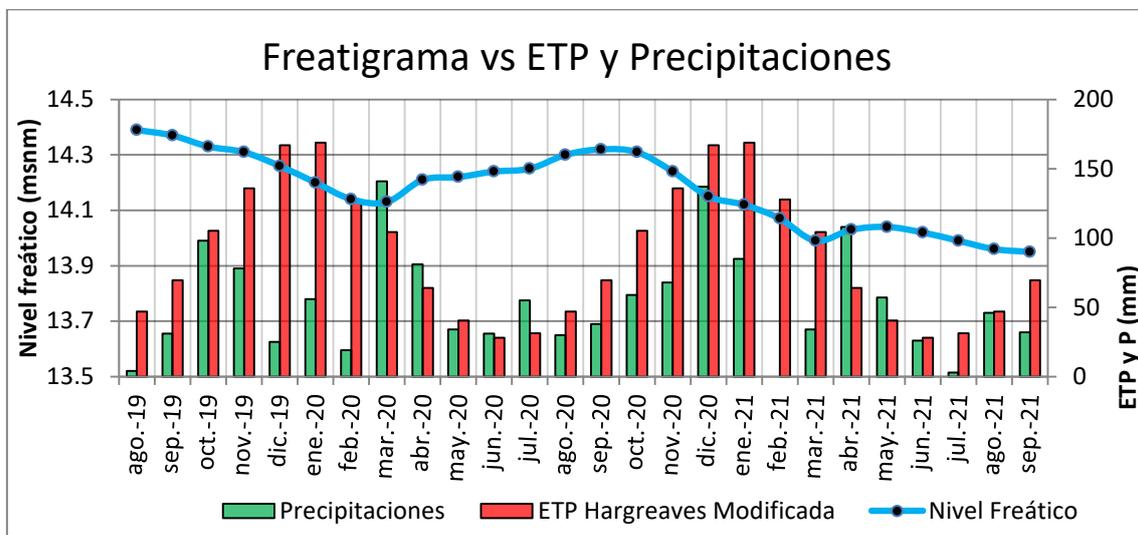


Figura 8.5.1: Promedios mensuales del nivel freático (m) para el sector del vivero de Pehuen-Có.

Las variaciones del nivel freático presentan una marcada estacionalidad. Los valores más bajos se observan en los meses de verano, afectados principalmente por la elevada evapotranspiración y el consumo antrópico estival. A su vez, se observa una respuesta positiva a inicios del otoño, coincidente con la estación lluviosa. Ese comportamiento se ve continuado, en menor medida, durante el invierno. Si bien esta estación no es considerada un periodo de grandes precipitaciones, los requerimientos hídricos son menores tanto antrópica como naturalmente. A fines del invierno y principios de primavera (período lluvioso), los niveles ascienden hasta el mes de Octubre. A partir de este punto comienza un continuo descenso de los mismos (curva de recesión).

Analizando la curva freaticométrica, en conjunto con las precipitaciones mensuales totales para el periodo registrado, se observa que quiebres de pendiente positivos, coinciden con los meses en los que la precipitación supera los 100 mm.

El freatigrama a paso diario (Figura 8.5.2) permite apreciar fluctuaciones, que al realizar el análisis de los promedios mensuales, se ven amortiguadas. La máxima amplitud registrada durante el período analizado es de 46 cm.

Se observan dos marcados ascensos del nivel freático, ocurridos a inicios del otoño, en los meses de marzo y abril, coincidentes con eventos de precipitaciones que superan los 60 mm/día.

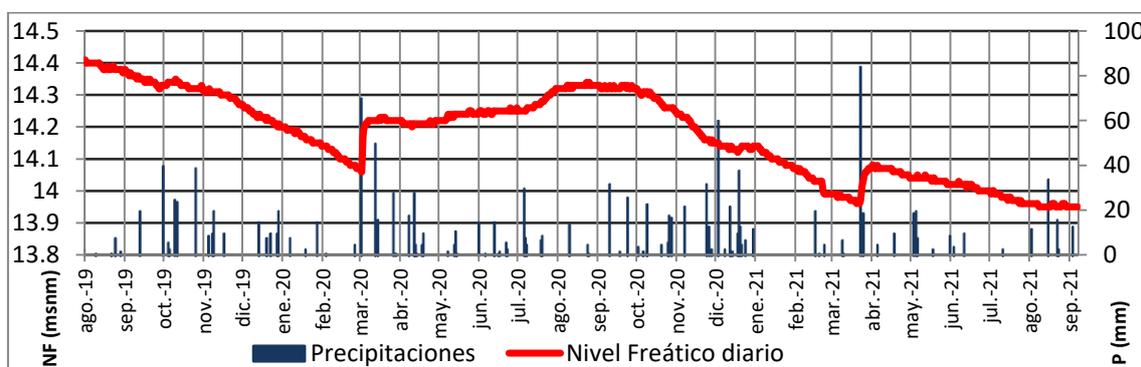


Figura 8.5.2: Freatigrama a paso diario vs precipitaciones para el sector de Pehuen-Có (08/2019-09/2021).

En general el nivel freático presenta una respuesta positiva a eventos de precipitación mayores a 30 mm, sin embargo este comportamiento se ve condicionado por la evapotranspiración. Las precipitaciones ocurridas durante los meses de primavera y verano, en su mayoría, no se ven reflejadas en ascensos del nivel freático. Sin embargo contribuyen a disminuir la pendiente de la curva de recesión, la cual muestra el descenso continuo de los niveles durante las estaciones con mayor evapotranspiración.

8.6 Referencias bibliográficas

- Bonorino, A. G. (1979). Estudio hidrogeológico para la provisión de agua subterránea en la zona de Médanos, partido de Villarino, provincia de Buenos Aires. VI Congreso Geológico Argentino. Bahía Blanca. Actas 443-465.
- Carretero, S. y Kruse, E. (2010). Modificaciones en las áreas de recarga del acuífero freático en los médanos costeros de San Clemente del Tuyú, provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina 66(4): 466 – 474.

Consejo Federal de inversiones. (1993). Contribución al mapa geohidrológico de la provincia de Buenos Aires Zona de Bahía Blanca y Nord-Patagónica. Convenio Consejo Federal de Inversiones Provincia de Buenos Aires. Inédito.

EdiUNS. (2005). Geoambiente y evaluación de las aguas freáticas del Partido de Coronel Dorrego (Provincia de Buenos Aires). Editorial de la Universidad Nacional del Sur (EdiUNS). Capítulos I y III. Juan Darío Paoloni y Magdalena González Uriarte Editores.

Software Surfer V.13. GOLDEN SOFTWARE, LLC 809 14th Street, Golden, Colorado 80401 USA.

Capítulo 9

HIDROQUÍMICA

9.1 Introducción

Por ciclo hidrológico se entiende al movimiento y transformaciones de estado que sufre el agua durante su recorrido por la hidrosfera y la atmósfera. El agua en estado gaseoso que se encuentra en las nubes se transforma por medio de la condensación en agua líquida, o por solidificación en nieve o granizo para luego precipitar sobre el terreno. El agua de lluvia posee ciertas propiedades y características que dependen, en parte, de la fuente líquida que originó el vapor en primera instancia y de las condiciones atmosféricas del lugar donde se produce la precipitación. El agua de lluvia presenta leves variaciones composicionales, que pueden jugar un rol importante al momento de tomar contacto con los sedimentos y rocas que conforman la superficie terrestre. Además puede reaccionar con el terreno adquiriendo y/o cediendo distintas clases de iones y moléculas.

El agua precipitada puede ser interceptada por la vegetación, infiltrarse en el suelo, evapotranspirarse, formar parte del escurrimiento superficial o hipodérmico o, si las condiciones son propicias, recargar el acuífero. Durante este recorrido entrará en contacto con varios agentes naturales y antrópicos como son: la materia orgánica, distintos horizontes de suelo, niveles más o menos mineralizados, etc. De este modo, el agua que finalmente consigue recargar el acuífero puede sufrir, o no, varias modificaciones en su composición química.

En las zonas áridas y semi-áridas la marca edafológica o la impronta química que el agua adquiere al atravesar los distintos horizontes que componen el suelo posee gran relevancia. Uno de los procesos más significativos es el aporte de sales depositadas en la zona no saturada, provenientes de la evapotranspiración de las precipitaciones de baja o escasa magnitud. Durante los eventos de precipitación de mayor milimetraje, el agua que penetra la superficie solubiliza las sales acumuladas

transportándolas a través del perfil del suelo. El área de estudio se caracteriza por la presencia de humedales de inter duna o pequeños cuerpos de agua, que sufren evaporación directa, aumentando su salinidad y generando halos salinos en sus costas, sufriendo luego el proceso de lavado anteriormente mencionado (Figura 9.1.1).

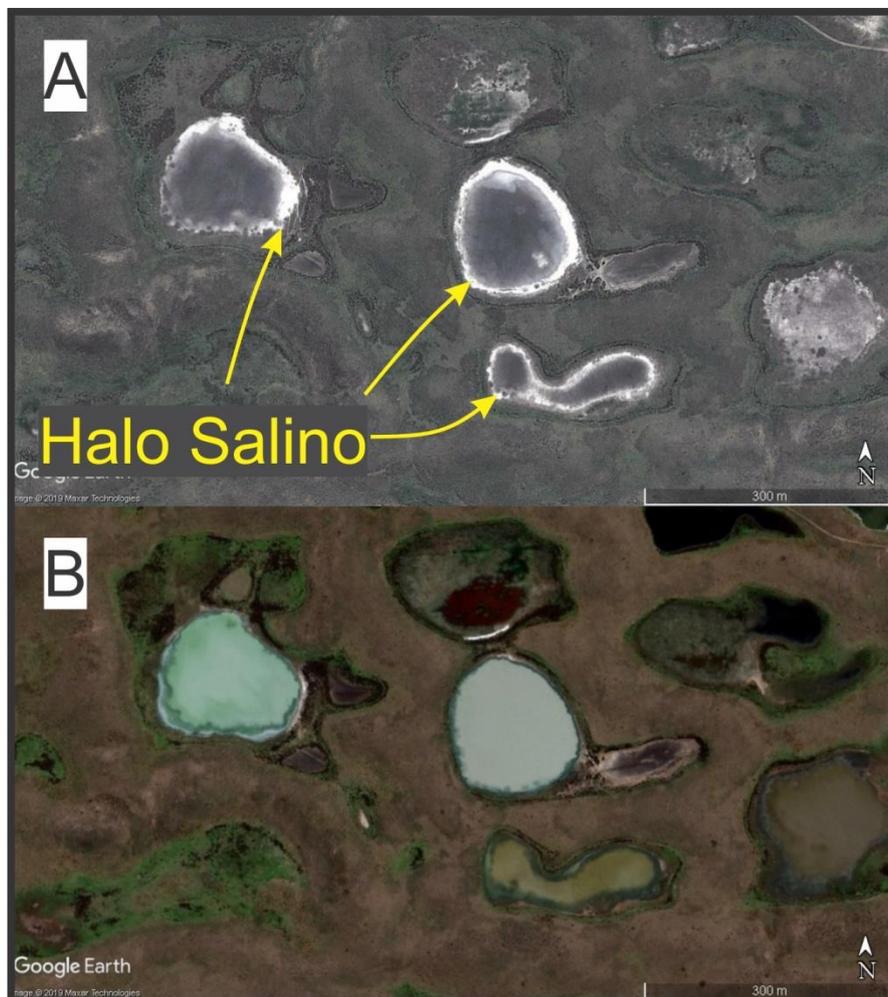


Figura 9.1.1: Halos salinos en humedales de interduna. A). Período seco con acumulación de sales en las costas. B) Período húmedo con aumento de nivel y disolución de sales.

Una vez en el acuífero el agua subterránea tendrá contacto permanente con los sedimentos que lo componen, pudiendo adquirir entonces una marca litológica producto de la interacción del agua con los minerales de la fase sólida. Esto también depende del tiempo de contacto entre dicha fase y el agua, la cual podrá formar parte del flujo local (menor tiempo de contacto), intermedio o regional (mayor tiempo de contacto) según las características hidrodinámicas del sector.

9.2 Caracterización química del agua de lluvia

El agua de lluvia no es agua totalmente pura, contiene un abanico de sustancias disueltas cuya composición, como ya se mencionó, dependen en parte del sector geográfico donde la precipitación suceda. En las zonas costeras el mayor aporte de los materiales disueltos proviene del agua marina. Las olas al romper en cercanías de la costa generan pequeñas gotas, las cuales se incorporan a la atmósfera generando un aerosol de pequeñas partículas sólidas que son disueltas e incorporadas por el agua de lluvia (Drever, 1982).

Es así que, en sectores costeros el agua de lluvia suele contener mayores tenores de Cl^- y Na^+ respecto a las aguas de lluvia continentales, cuya composición se encuentra mayormente controlada por el polvo atmosférico.

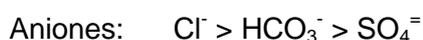
Para el estudio del agua de lluvia en el sector costero medanoso se contó con 15 muestras de agua de lluvia tomadas en la ciudad de Monte Hermoso. Todas ellas corresponden a tormentas tanto invernales como estivales, ocurridas entre el año 2016 y el 2017. Posteriormente, durante la primavera del año 2018 se llevó a cabo la recolección de 5 muestras de agua de lluvia en el balneario de Pehuen-Có. Los análisis químicos fueron realizados en los laboratorios LANAQUI y LUIC, dependientes de la UNS y el CONICET. Los detalles de la composición química se vuelcan en la Tabla 9.2.1.

A partir de estos datos se observa que la conductividad eléctrica del agua de lluvia no suele superar los $60 \mu\text{S}/\text{cm}$, salvo en tres muestras que exceden marcadamente ese valor. Sin embargo, en sectores costeros durante tormentas provenientes del mar, es posible encontrar agua de lluvia con conductividades que superan los $600 \mu\text{S}/\text{cm}$ (Custodio y Llamas, 1976). Teniendo en cuenta que las muestras fueron obtenidas en un sector próximo a la costa, estos valores se toman como válidos. A partir del análisis iónico se observa un predominio del ion Cl^- configurando un 30% del total de iones disueltos (TID) sobre el SO_4^{2-} y los HCO_3^- entre los aniones y un predominio del Na^+ con un 22.28% del TID sobre el Ca^+ , Mg^+ y el K^+ entre los cationes.

Tabla 9.2.1: Contenidos de elementos mayoritarios en el agua de lluvia del sector costero.

Nº Muestra	ID Muestra	C.E	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻
		µS/cm	U de pH	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1	MILL 1	67	-	2	1	4	2	6	5	10
2	MILL 2	23,6	-	1	0,3	2	1	<1	2	6
3	MILL 3	59,7	-	1	0,5	3	2	4	4	3
4	MH01012016	286,7	-	15	4	12	6	45	12	20
5	MH19012016	425,9	-	33	3	13	10	77	21	3
6	MH21012016	52,1	-	5	2	1	2	7	3	7
7	MH24012016	97,4	-	8	1	6	5	10	3	29
8	MH04022016	78	-	9	2	3	2	13	3	6
9	MH05022016	41,7	-	4	1	1	1	5	3	5
10	MH07022016	51	-	5	3	1	2	8	4	10
11	MH26112016	26	-	7	1,5	1	<1	3	3	-
12	MH09012017	145	-	18,9	3,6	8	2	57	13	-
13	MH13012017	97	-	7,6	1,3	<1	<1	6	<1	-
14	MH17022017	152	-	11,5	3,3	8	<1	-	7	-
15	MH26022017	89	-	7,1	1,1	4	<1	6	3	-
16	PCLL 1	46	5,1	5,64	0,32	2	0,74	11,2	5,2	5,2
17	PCLL 2	47	6,2	6,3	0,48	0,72	0,5	10,2	2,4	9,1
18	PCLL 3	15	6,1	1,09	0,49	0,49	0,27	4,6	0,6	3
19	PCLL 4	28	6,1	3,51	1,02	1,01	0,53	7,9	1,4	8,3
20	PCLL 5	45	6,3	0,94	1,28	1,5	0,47	6,3	1,7	10,4
Mínimo			5,1	0,94	0,3	0,49	0,27	<1	0,6	3
Máximo			6,3	18,9	4	13	10	77	21	29
Promedio			5,96	7,62	1,6	3,82	2,34	15,95	5,12	9
meq/L			-	0,33	0,04	0,191	0,193	0,45	0,106	0,147

El patrón iónico del agua de lluvia en el sector costero de Monte Hermoso y Pehuen-Có es el siguiente y permite clasificarla como clorurada sódica según los iones mayoritarios (Custodio y Llamas, 1976):



Cationes: $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} \approx \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$

Sin bien el promedio analizado permite inferir el patrón clorurado sódico como el dominante, no todas las tormentas poseen esta impronta. Utilizando la clasificación de Piper Hill, nueve tormentas (9) clasifican como cloruradas sódicas, cuatro (4) como clorurada magnésica/cálcica y dos (2) como bicarbonatadas cálcicas (Figura 9.2.1).

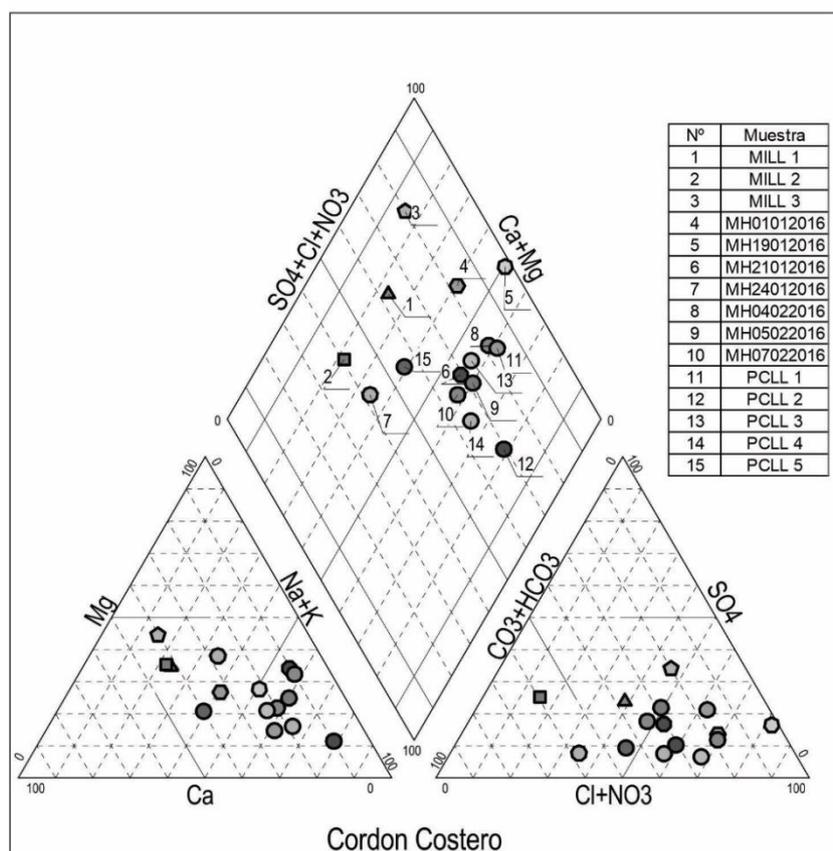


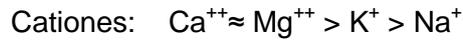
Figura 9.2.1: Diagrama Piper Hill del agua de lluvia para el cordón costero. Solo fueron ploteadas las muestras que poseen el total de los iones mayoritarios analizados (15/20).

En el sector de las Sierras Australes, ubicado a unos 100 Km al norte de la costa, Bonorino (1991) realizó un análisis del agua de lluvia a partir de 30 muestras colectadas entre los años 1987 y 1988 (Tabla 9.2.2).

Tabla 9.2.2: Contenidos de elementos mayoritarios en el agua de lluvia del sector serrano. (Modificado de Bonorino, 1991).

Sector Serrano	Na^+	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	Cl^-	SO_4^-	HCO_3^-
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Mínimo	0,12	0	0,4	0,07	1,9	1,3	4,1
Máximo	3,23	7,6	4,12	2,7	8,58	14,5	22,08
Promedio	1,67	3,8	2,26	1,38	5,24	7,90	13,09
meq/L	0,07	0,09	0,11	0,11	0,14	0,16	0,21

Dicho autor caracterizó el patrón iónico del agua de lluvia como:



Queda así definida la composición bicarbonatada cálcica/magnésica del agua de lluvia en el sector serrano.

Bonorino (1994) analizó tanto el polvo atmosférico como el agua de lluvia de la ciudad de Bahía Blanca, ubicada a escasos 35 Km al oeste del área de estudio. Este autor llega a la conclusión que el polvo atmosférico ejerce gran influencia en la química del agua, ya que posee la impronta mineralógica del loess pampeano. En efecto, clasifica la composición química del agua de lluvia como bicarbonatada cálcica con el siguiente patrón químico (Tabla 9.2.3):



Tabla 9.2.3: Contenidos de elementos mayoritarios en el agua de lluvia de Bahía Blanca. (Modificado de Bonorino, 1994).

Sector Bahía Blanca	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Mínimo	0,2	0,19	0,2	0,21	0,81	2,49	6,52
Máximo	19,5	8,21	18,58	5,62	36,06	40,99	54,7
Promedio	3,51	1,48	3,7	1,92	5,8	7,8	20,67
meq/L	0,153	0,038	0,185	0,159	0,164	0,163	0,339

Comparando los tres sectores, quedan expuestas las diferencias químicas entre el agua de lluvia del sector serrano, la ciudad de Bahía Blanca y el sector costero Monte Hermoso-Pehuen-Có (Figura 9.2.2).

La composición química del agua de lluvia del sector costero depende del origen cardinal de las tormentas. Los vientos predominantes del N y NO (continentales), traen consigo polvo atmosférico, cuya impronta se ve plasmada en la cantidad de HCO₃⁻ y Ca⁺⁺ presente en las lluvias. A su vez, la influencia marina en la composición del agua, es apreciable en algunas tormentas puntuales provenientes del mar (S, SO y SE), donde los tenores de Mg⁺⁺ son superiores a los de Ca⁺⁺.

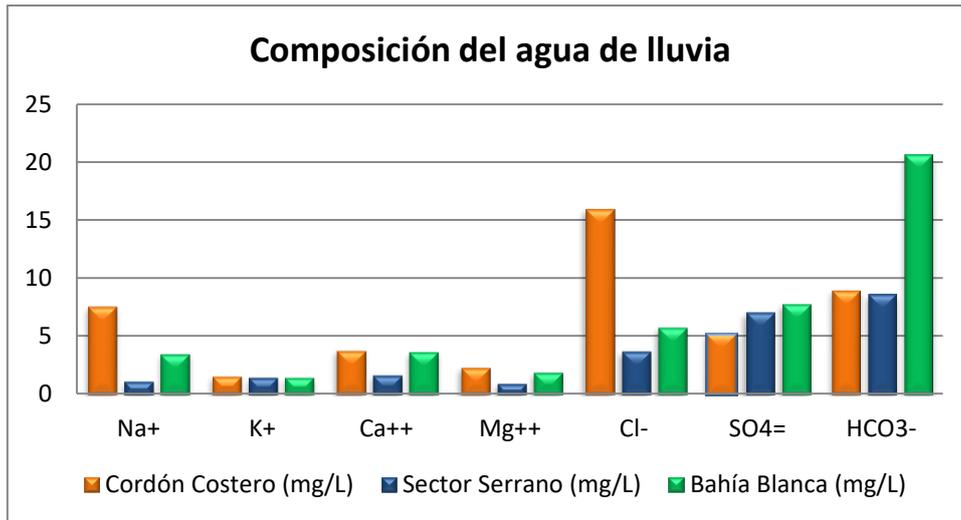


Figura 9.2.2: Comparativa química de iones mayoritarios en el agua de lluvia.

El caso particular de Bahía Blanca, ciudad costera con precipitaciones dominadas por el anión HCO_3^- sobre el Cl^- , se puede explicar por su ubicación geomorfológica sobre el faldeo de la peniplanicie rica en loess pampeano, sumado a su emplazamiento en el sector interno del estuario de Bahía Blanca. El viento proveniente principalmente del sector norte, trae consigo grandes cargas de polvo procedente de la peniplanicie (Bonorino, 1994).

9.3 Hidroquímica del agua subterránea en el sector medanoso

La caracterización química del agua del acuífero freático se realizó a partir de 23 análisis químicos completos en muestras colectadas durante el censo hidrológico, sumados a diversos análisis químicos antecedentes suministrados por los municipios de Coronel Rosales y Monte Hermoso y particulares. Los análisis químicos realizados incluyeron componentes mayoritarios (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , $\text{SO}_4^{=}$, Cl^- , $\text{CO}_3^{=}$, NO_3^-) y, en algunos casos, elementos minoritarios como F y As. El error analítico máximo admitido fue de 10%. Los análisis completos y diversos mapas hidroquímicos pueden observarse en el "Anexo Hidroquímica".

Las 5 (cinco) campañas de muestreo, fueron realizadas durante los meses de Junio y Julio de 2018, Diciembre de 2018 y Julio de 2019. La conductividad eléctrica fue medida in situ, junto con otros parámetros como la temperatura y pH. Para ello se utilizó un medidor multiparamétrico marca Lutron modelo MW-2015 calibrado a tal fin.

El sector oeste del área se ve limitado en la cantidad de puntos censados debido a que la mayor parte corresponde a una zona militar destinada a la práctica de tiro, por lo que su acceso se encuentra prohibido. Igual, cabe aclarar que, a partir del

análisis de imágenes satelitales, no se reconocieron molinos o perforaciones en ese ámbito.

Dentro del área de la base de infantería de marina "Baterías" se encuentra un molino cuya muestra de agua (ESI 6) posee características químicas distintas al resto (para la misma profundidad de captación y fondo de pozo). Esta muestra presenta una conductividad eléctrica de 3850 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con altos tenores de Cl^- y Na^+ . Debido a la gran diferencia con el resto de las muestras no fue integrada para realizar la caracterización química promedio expuesta en la tabla 9.3.1, aunque si se lo hizo en la columna "máximos". Si bien su descripción y análisis se realizó por separado, fue incluida en las distintas figuras que muestran la distribución espacial de los iones analizados.

Tabla 9.3.1: Valores mínimo, máximos y promedio derivados de los AQ.

Analito	Unidad	Media	Máximo	Mínimo
pH	U de pH	7,9	8,6	7,5
Conductividad a 25°C	$\mu\text{S}/\text{cm}$	820	3850	270
Dureza total	mg/L de CaCO_3	159	301,3	19,6
TSD	mg/L	377	2112	96,4
Alcalinidad	mg/L de CaCO_3	241	490	136
Calcio	mg/L	36	57,1	3,3
Magnesio	mg/L	18	38,6	2,7
Sodio	mg/L	105	672,6	22,2
Potasio	mg/L	6,8	17,4	3,2
Bicarbonatos	mg/L	274	577,1	116,1
Carbonatos	mg/L	34,6	39,6	29,7
Cloruros	mg/L	92	556,5	25,8
Sulfatos	mg/L	53	442,1	10,3
Nitratos	mg/L	12,5	23	0,2
Flúor	mg/L	0,83	1,3	0,4
Arsénico	mg/L	0,01	0,04	<0,01

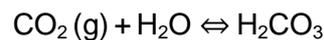
A partir de los datos anteriores se observa que el acuífero freático presenta en general agua dulce, con valores de conductividad eléctrica que no suelen superar los 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, salvo casos particulares. El valor mínimo medido fue 270 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que el máximo alcanzó los 3850 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 9.3.1).

El total de sólidos disueltos varía entre 96 mg/L y 2112mg/L y el promedio se encuentra en 377 mg/L. Las aguas se presentan neutras a alcalinas, con un pH promedio de 7,9, un mínimo de 7,5 y un valor máximo de 8,6.

9.3.1 Análisis de los componentes mayoritarios y minoritarios

Dentro de los aniones, el bicarbonato (HCO_3^-) es la especie que se presenta en mayor proporción. Su valor medio es de 274 mg/L, con un máximo de 577 mg/L y un mínimo de 116,1 mg/L. Continuando con la familia carbonatada, el ion carbonato (CO_3^{2-}) solo fue detectado en dos muestras cuyo pH era mayor a 8,3. El valor máximo fue de 39,6 mg/L y el mínimo 29,7 mg/L.

Las concentraciones relativas de los carbonatos y bicarbonatos dependen del valor de pH del agua (Figura 9.3.1.1). De manera simplificada, las reacciones de disolución e hidrólisis entre el agua de lluvia (pH 6) que se infiltra, con los compuestos carbonatados existentes en la zona no saturada (en particular el CO_2) explican en gran medida su presencia en el agua subterránea (Appello y Postma, 1999). El CO_2 disuelto en el agua puede permanecer en estado gaseoso o como ácido carbónico (H_2CO_3) siguiendo la siguiente reacción:



Al disociarse el H_2CO_3 se producen iones HCO_3^- y CO_3^{2-} , siendo esta reacción condicionada por el pH del medio.

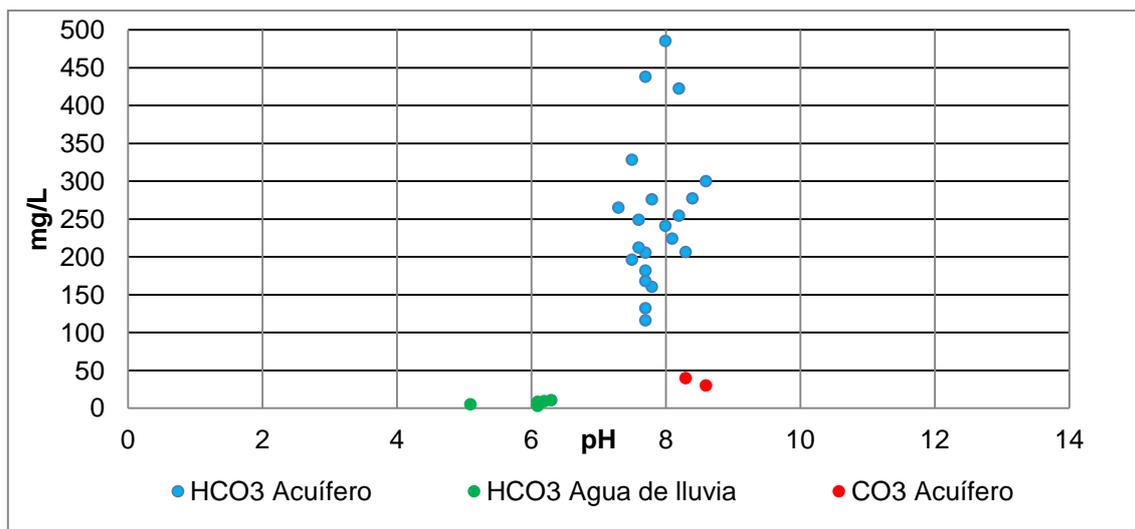
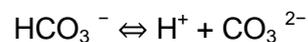
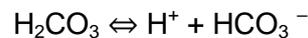


Figura 9.3.1.1: Concentraciones de las especies carbonatadas vs el valor de pH de las aguas.

El segundo anión en abundancia es el cloruro (Cl^-). Si bien se encuentra presente en sales muy solubles, su principal fuente en el área de estudio la compone

el agua de lluvia. Una vez en el acuífero el cloruro se mantiene en solución, su carácter conservativo resulta extremadamente útil para distintas interpretaciones. El aumento de este anión se relaciona directamente con un incremento en la conductividad eléctrica (Figura 9.3.1.2). El máximo valor medido fue 556,5 mg/L, el valor mínimo fue de 25,8 mg/L y la concentración media obtenida fue 90 mg/L.

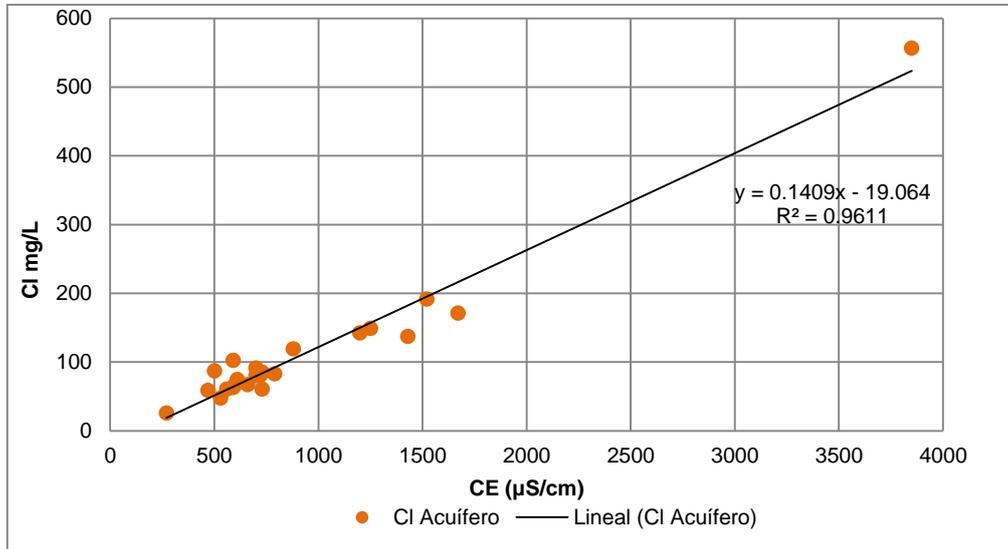


Figura 9.3.1.2: Relación entre los tenores de Cl^- y la conductividad eléctrica en el agua del acuífero freático.

Las menores concentraciones, en general, coinciden con las áreas de recarga preferencial, mientras que los valores máximos se ubican en las zonas de descarga (Figura 9.3.1.3), inferidas a partir del mapa de flujo subterráneo (*cfr.* Capítulo 8).

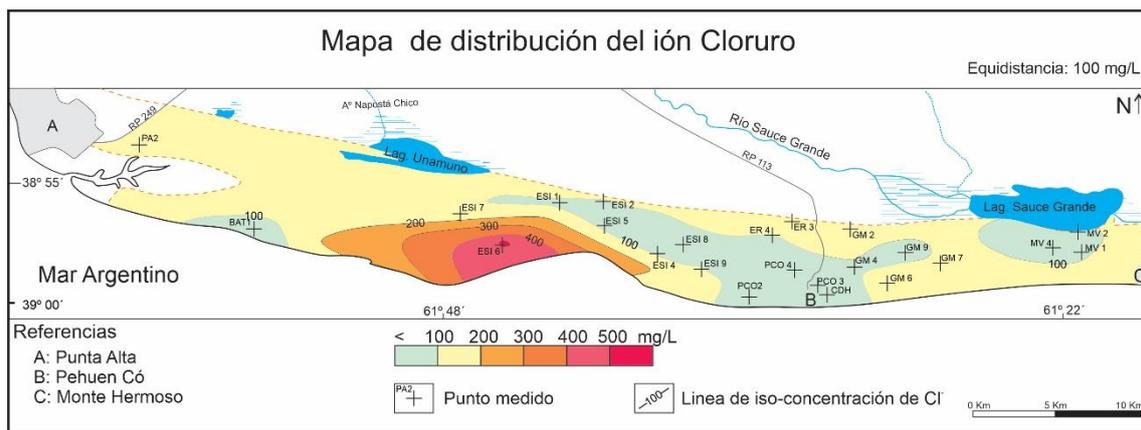


Figura 9.3.1.3: Distribuci6n del i6n cloruro en la zona de estudio.

Continuando con los aniones, el sulfato (SO_4^{2-}) se presenta en una cantidad levemente menor que el Cl^- , siendo su valor medio de 57,76 mg/L, m6ximo de 442,1 mg/L y m6nimo de 10,3 mg/L. Su distribuci6n espacial es relativamente homog6nea. La

mayoría de los puntos analizados presentan tenores menores a 100 mg/L, relacionándose las mayores concentraciones a sectores influenciados por lagunas freáticas.

El último de los aniones analizados es el Nitrato (NO_3). Su valor medio es de 12,5 mg/L, no superando los 25 mg/L (Figura 9.3.1.4). Las muestras con mayores concentraciones se ubican tanto en la zona urbana como en molinos rurales junto a bebederos para ganado, con lo cual su presencia en cantidades superiores a la media puede relacionarse con actividades antrópicas y ganaderas.

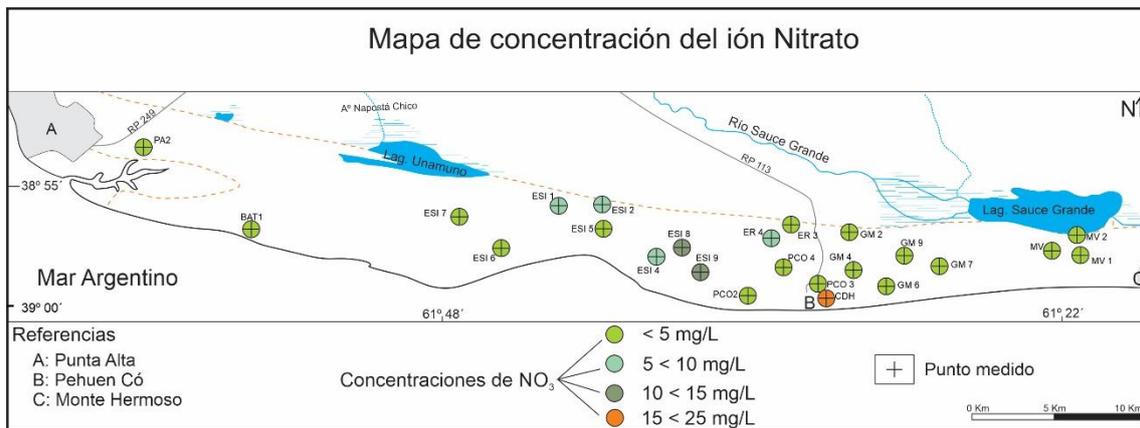


Figura 9.3.1.4: Valores de concentración de NO_3 medidas en el acuífero freático.

Dentro de los cationes, el sodio (Na^+) resulta el más abundante con un valor medio de 108,2 mg/l, mínimo de 22,2 mg/L y máximo de 240,5 mg/L. La fuente de este elemento puede inferirse analizando la relación entre el Na^+ y el Cl^- (Figura 9.3.1.5).

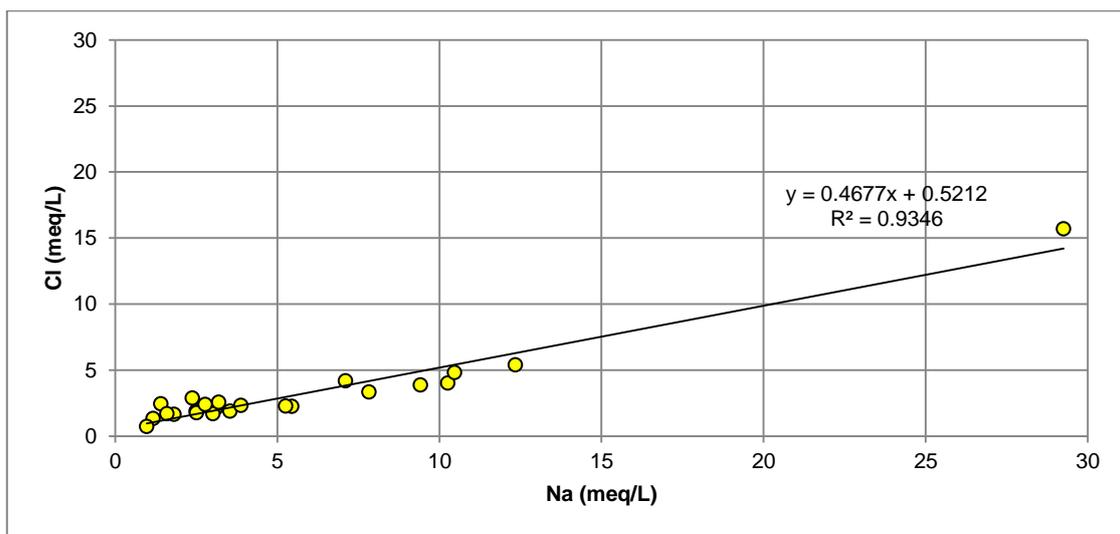


Figura 9.3.1.5: Gráfico Cl^- vs Na^+ (meq/L).

En los casos que la cantidad de sodio es similar al cloruro, el proceso por el cual estos se incorporan al agua subterránea se relaciona con la disolución de halita (NaCl). En la mayoría de las muestras la $r_{Na/Cl}$ es mayor a 1, evidenciando que existe otra fuente de Na en el acuífero. Este aumento puede deberse a la descomposición de plagioclasas sódicas y/o intercambio catiónico con arcillas. Para analizar la posibilidad de un intercambio catiónico se tomó como referencia la relación $r_{Na / (Na+Cl)}$ (Tabla 9.3.1.1), la cual toma valores mayores a 0,5 cuando existe intercambio catiónico (Hounslow, 1995).

Tabla 9.3.1.1: Distintas relaciones entre sodio y cloruros para el agua subterránea.

Muestra	Na[meq/L]	Cl[meq/L]	Na + Cl	Na/(Na+Cl)	$r_{Na/Cl}$
PA2	12,3	5,4	17,7	0,7	2,3
ESI 1	3,5	1,9	5,4	0,7	1,9
ESI 2	3,9	2,3	6,2	0,6	1,7
ESI 4	2,5	1,9	4,4	0,6	1,3
ESI 5	1,8	1,7	3,5	0,5	1,1
ESI 6	29,3	15,7	45,0	0,7	1,9
ESI 7	7,8	3,4	11,2	0,7	2,3
ESI 8	1,4	2,5	3,9	0,4	0,6
ESI 9	2,4	2,9	5,3	0,5	0,8
BAT 1	5,4	2,3	7,7	0,7	2,4
PCO 2	3,1	2,1	5,2	0,6	1,5
PCO 3	3,0	1,7	4,7	0,6	1,8
PCO 4	2,5	1,8	4,3	0,6	1,4
GM 2	10,3	4,0	14,3	0,7	2,6
GM 4	3,2	2,6	5,8	0,6	1,2
GM 6	10,5	4,8	15,3	0,7	2,2
GM 7	9,4	3,9	13,3	0,7	2,4
GM 9	1,2	1,3	2,5	0,5	0,9
ER 3	7,1	4,2	11,3	0,6	1,7
ER 4	2,8	2,4	5,2	0,5	1,2
MV 1	1,6	1,7	3,3	0,5	0,9
MV 2	1,0	0,7	1,7	0,6	1,3
MV 4	5,3	2,3	7,5	0,7	2,3

A partir del análisis de las muestras es posible observar que, aquellas en las cuales la $r_{Na/Cl}$ es mayor a 1, la $r_{Na/(Na+Cl)}$ sugiere la existencia de intercambio catiónico.

El Ca^{++} , segundo catión en abundancia, presenta un valor medio de 36 mg/L, máximo de 60 mg/L y un mínimo de 3,3 mg/L. Se encuentra presente en distintos

minerales como plagioclasas (abundantes en las arenas del cordón costero) y piroxenos. A su vez, en rocas sedimentarias su principal fuente son carbonatos y en menor medida los sulfatos (yeso y anhidrita). El Ca^{++} puede formar sales solubles que, ante cambios en el pH o de la presión parcial de CO_2 pueden precipitar o disolverse.

En orden de abundancia continúa el Magnesio (Mg^{++}), con una media de 18,21 mg/L y valores máximos de 36 mg/L. La principal fuente de este catión son las rocas carbonáticas, las evaporitas marinas y la alteración de silicatos ferromagnesianos. Su concentración puede ser influenciada por procesos de intercambio catiónico, relacionados con el calcio.

En menor proporción se encuentra el K, con una media de 6,8 mg/L, nunca superando los 18 mg/L. Suele derivar de la solubilización de depósitos evaporíticos y la meteorización de feldespato potásico. Es normalmente afectado por el intercambio catiónico, siendo fuertemente retenido por las arcillas, lo cual explica su baja concentración en las aguas naturales.

El conjunto de mapas de distribución de cationes y aniones mayoritarios puede observarse en el "Anexo II, Hidrogeoquímica".

Para los oligoelementos analizados, los valores de F promedio corresponden a 0,83 mg/L, nunca superando el valor de 1,35 mg/L. El As posee un valor promedio de 0,016 mg/L con máximos de 0,045 mg/L; el límite de detección del equipo utilizado se encuentra en 0,010 mg/L y se contabilizaron cinco muestras con valores inferiores al mismo. El origen de estos dos elementos se relaciona, en parte, con la meteorización de vidrio volcánico, componente común del loess pampeano (Limbozzi, 2011).

En contraposición a los valores medidos en las muestras del acuífero psamítico, las aguas alojadas en los sedimentos pampeanos y postpampeanos finos subyacentes, presentan elevados tenores de estos oligoelementos. En una captación somera, en el sector de llanura, 500 m al norte de la cadena de médanos, los valores de F medidos fueron de 3,87 mg/L y los de As de 0,06 mg/L.

De esta manera el F^- y As actúan como un geoindicador. Así, la presencia de valores "anómalos" en las aguas dentro del cordón costero, permite inferir que las captaciones alcanzan a los sedimentos pampeanos que actúan como hidroapoyo. Esta situación ha sido registrada en algunas perforaciones de la planta de bombeo de Monte Hermoso (fuera del área de estudio), donde se ha contrastado la química del agua con el perfil litológico atravesado.

Continuando con el análisis, las características de la muestra ESI 6 difieren claramente del resto (tabla 9.3.1.2)

Tabla 9.3.1.2: característica químicas de la muestra ESI 6.

Analito	Unidad	Valor	Unidad	Valor
pH	U de pH	8,3	U de pH	8,3
Conductividad a 25°C	µS/cm	3850	µS/cm	3850
Dureza total	mg/L de CaCO ₃	301,3	mg/l de CaCO ₃	301,3
TSD	mg/L	2112	mg/l	2112
Alcalinidad	mg/L de CaCO ₃	490	mg/l de CaCO ₃	490
Calcio	mg/L	57,12	meq/L	2,85
Magnesio	mg/L	38,59	meq/L	3,18
Sodio	mg/L	672,6	meq/L	29,25
Potasio	mg/L	15,56	meq/L	0,4
Bicarbonatos	mg/L	577,1	meq/L	9,46
Carbonatos	mg/L	39,6	meq/L	1,31
Cloruros	mg/L	556,5	meq/L	15,7
Sulfatos	mg/L	442,1	meq/L	9,19
Nitratos	mg/L	0,28	meq/L	0,004
Flúor	mg/L	-	meq/L	-
Arsénico	mg/L	0,014	meq/L	-

La elevada mineralización que presenta se puede explicar a partir de la existencia de abundantes lagunas freáticas en su entorno (Figura 9.3.1.6). La hidrodinámica del sector muestra un bajo valor del gradiente hidráulico, lo que sumado a las características topográficas, genera un área propicia para el afloramiento del nivel freático durante la estación húmeda (*cfr.* Capítulo 8) con la consiguiente evaporación de los cuerpos de agua y concentración salina.



Figura 9.3.1.6: Ubicación del molino ESI 6 rodeado de lagunas freáticas.

Por su posición costera, el posible aumento de la salinidad debido a mezcla con agua de mar o intrusión marina queda descartada al analizar las relaciones iónicas entre el Mg y el Ca (rMg/rCa) y entre el Cl y el HCO_3 ($rCl/rHCO_3$), las cuales sugieren el origen continental del agua analizada (Custodio y Llamas, 1983) (tabla 9.3.1.3).

Tabla 9.3.1.3: Valores de las relaciones iónicas.

Relación	Valor	Agua continental	Agua marina
rMg/rCa	1,11	0,3 - 1,5	≈ 5
$rCl/rHCO_3$	1,65	0,1 - 5	20 - 50

Además, utilizando un diagrama de Schöeller-Berkaloff, se observa que, si bien dicha muestra posee concentraciones mayores a las medias del acuífero, las rectas

entre iones conservan pendientes coincidentes con el resto de las muestras analizadas (Figura 9.3.1.7) lo que corroboraría la concentración salina por evaporación.

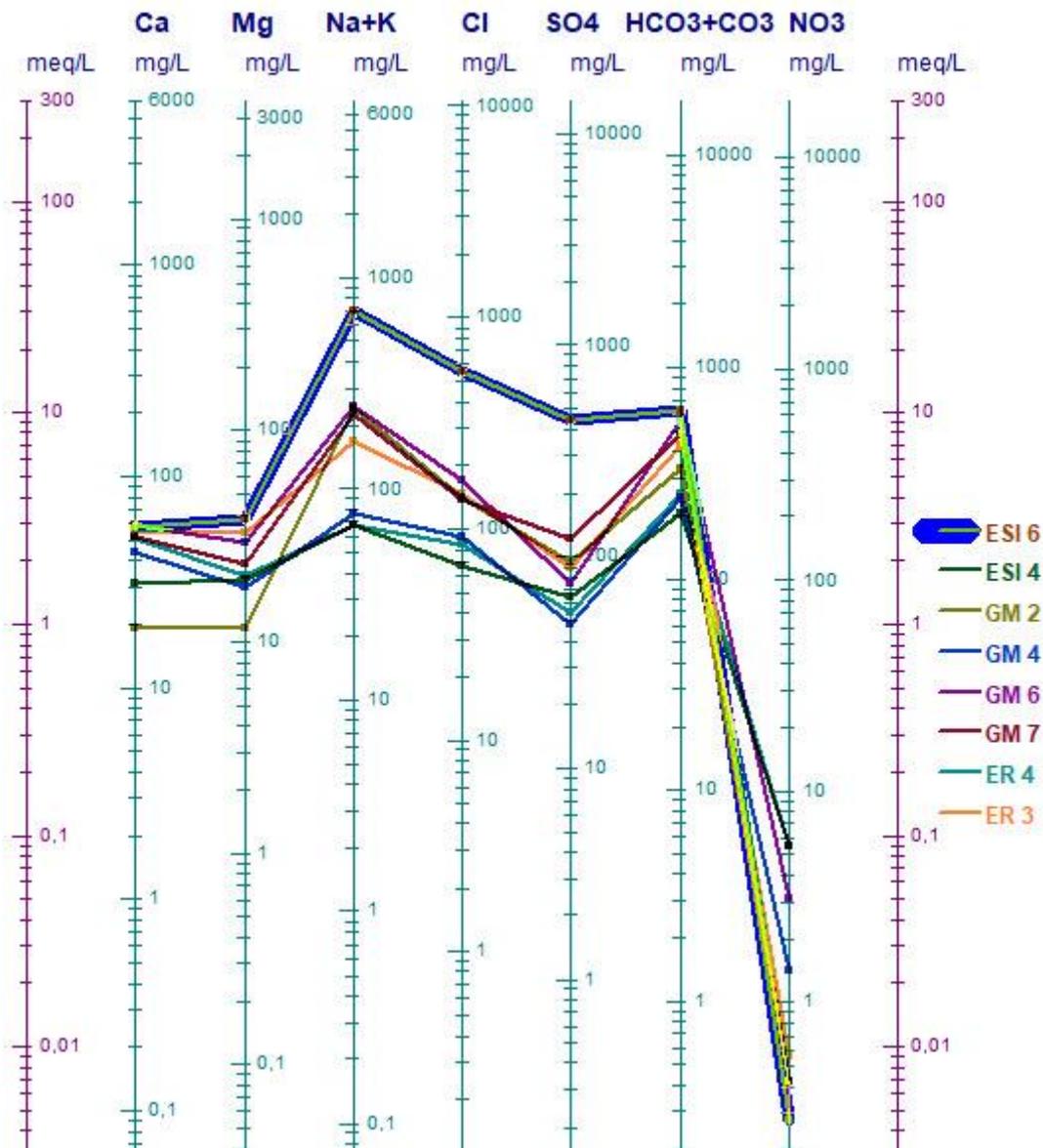


Figura 9.3.1.7: Muestras ploteadas según el diagrama de Schöeller-Berkaloff.

9.3.2 Clasificación geoquímica de las aguas

Para analizar el patrón químico de las muestras obtenidas se utilizó la clasificación de diagramas triangulares de Piper Hill (Figura 9.3.2.1). En base a la composición química y su ubicación en los triángulos, el agua del cordón costero medanoso (23 muestras) clasifica como: bicarbonatada sódica (9/23), bicarbonatada

cálcica/magnésica (9/23), clorurada sódica (3/23) y clorurada cálcica/magnésica (2/23).

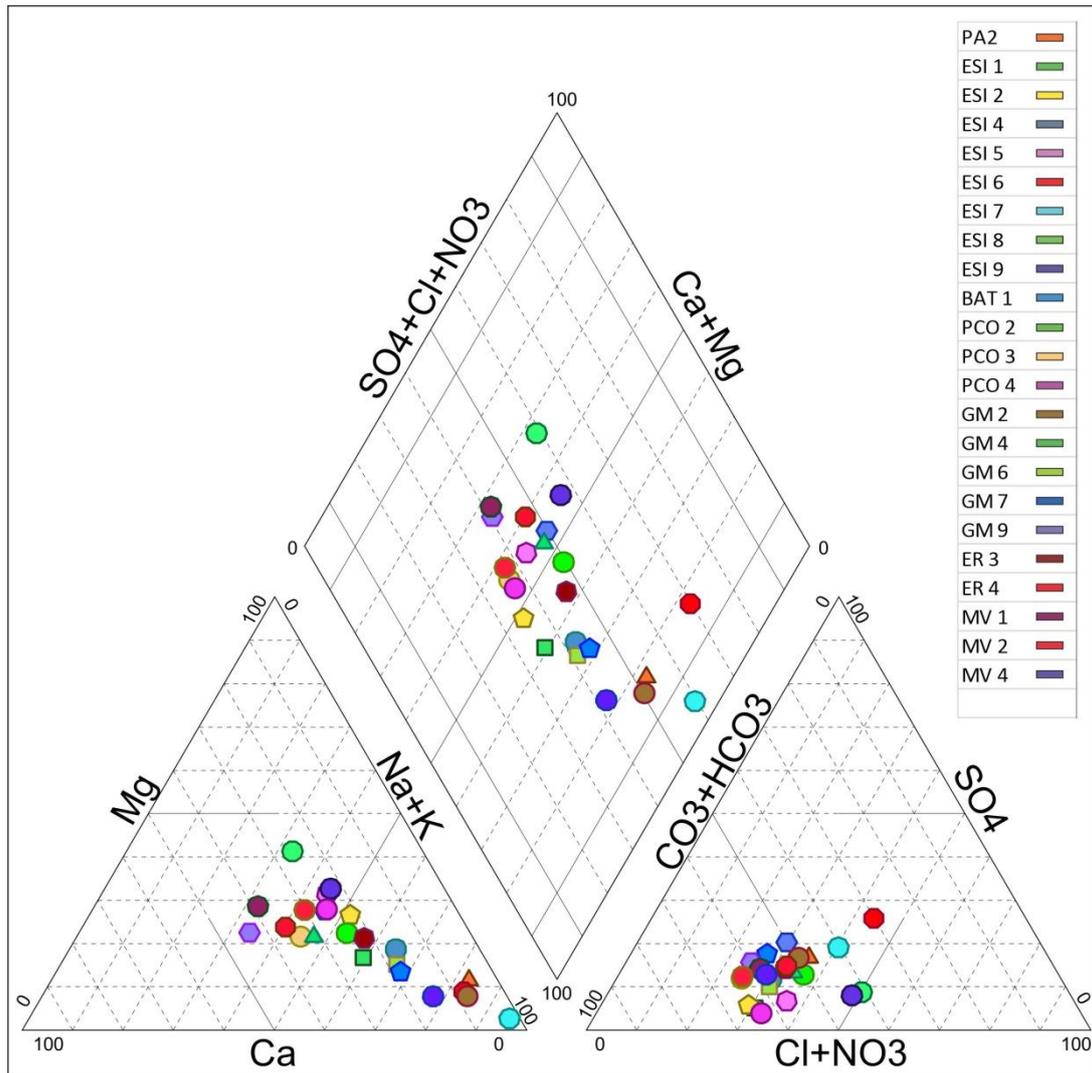


Figura 9.3.2.1: Ploteo de las muestras del cordón costero sobre diagramas triangulares de Piper Hill.

A partir de los datos hidroquímicos se elaboró el mapa de los diagramas químicos de Stiff modificados, para representar la composición química de cada muestra y su distribución espacial (Figura 9.3.2.2).

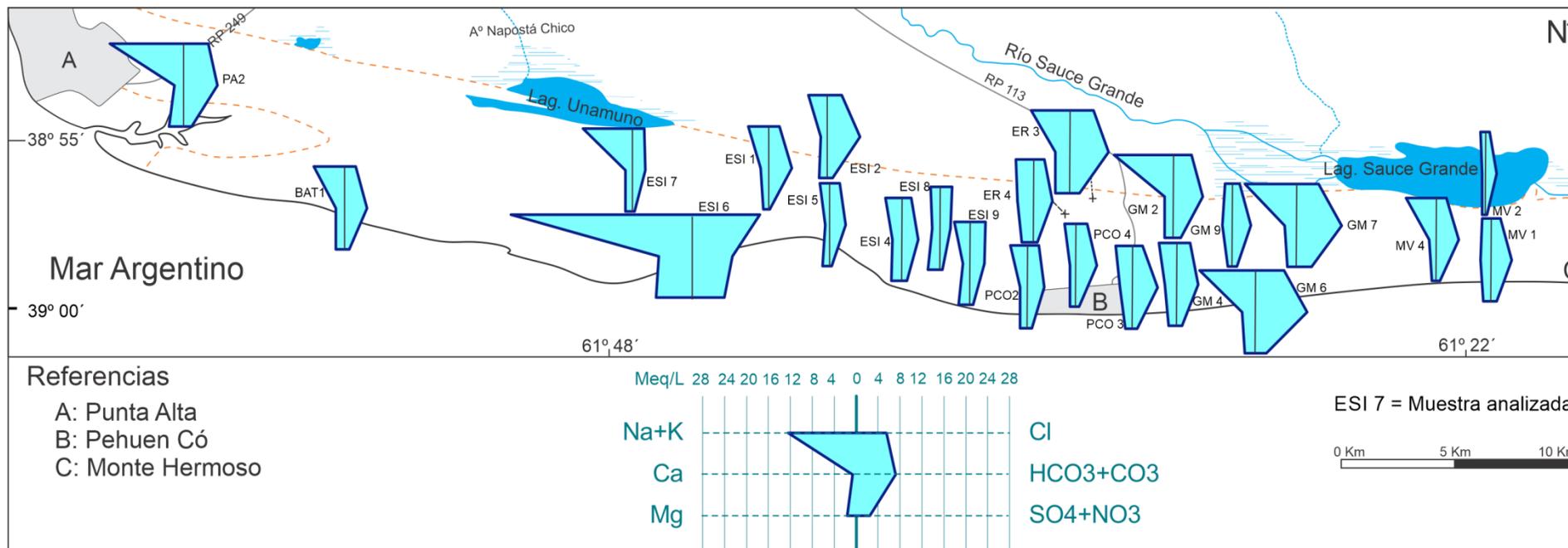


Figura 9.3.2.2: Mapa de diagramas de Stiff modificado.

Analizando los datos anteriormente expuestos, en conjunto con la red de flujo subterráneo, no se observa una marcada evolución química del agua subterránea entre las zonas de recarga preferencial y las zonas de tránsito. Esto puede deberse al escaso tiempo de residencia del agua subterránea, condicionado por flujos locales de corto recorrido, sumado a la composición litológica del acuífero, dominado por arenas silíceas. Las plagioclasas y la escasa matrix limo-arcillosa se consideran las fases sólidas de la zona saturada, más sujetas a ser afectadas por las distintas reacciones químicas.

Las zonas de descarga presentan una mayor mineralización relacionada a sectores particulares, donde durante las estaciones húmedas, el nivel freático aflora creando lagunas freáticas o zonas anegadas. Estos sectores sufren ciclos de evaporación y depositación de costras o niveles salinos en las estaciones secas. Posteriormente, durante eventos de precipitación abundantes y/o aumento de la cota del nivel freático, estos depósitos son disueltos e incorporados al agua subterránea, aumentando así la salinidad del sector.

9.3.3 Calidad del agua

La composición química del agua *per se* no define necesariamente su calidad. Para determinar si un agua es de "buena" o "mala" calidad, apta o inapta, deben conocerse los límites químicos establecidos según el uso que se pretenda darle.

9.3.3.1 Agua para consumo humano

En lo que a consumo humano se refiere, la normativa que establece estos límites es el Código Alimentario Argentino (CAA) en su capítulo XII. En él se establecen los requerimientos mínimos y máximos para considerar el agua como potable.

Si bien el CAA contempla otros iones no analizados en este trabajo, se compararon las muestras del acuífero freático con los límites establecidos en dicho código (Tabla 9.3.3.1.1) para los iones comunes. Se observa que, en casi todos los casos, los valores obtenidos cumplen la normativa.

La muestra que presenta mayores diferencias y se considera no apta para consumo humano es la denominada ESI 6, debido a que supera ampliamente los límites de total de sólidos disueltos (TDS), cloruros y sulfatos.

En tres muestras se observan valores de flúor por debajo de lo establecido, mientras que en una sola el pH es mayor a lo recomendado.

Tabla 9.3.3.1.1: Valores de referencia según C.A.A vs analitos de las muestras del acuífero freático (En rojo se resaltan los valores que superan lo establecido mientras que en violeta se marcan los que se encuentran por debajo del mínimo).

Parámetros	pH	TSD (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	F (mg/L)	As (mg/L)	Dureza total mg/L (CaCO ₃)
Permitido (CAA)	<6,5 - 8,5>	1500	350	400	45	<0,8-1,3>	0,05*	400
PA2	7,7	1083	191,5	121,1	1,5	S/D	0,01	130,4
ESI 1	8,2	479	67,2	15,8	6,58	0,83	S/D	130,3
ESI 2	7,5	596	82,6	22,7	5,6	S/D	0,013	190,6
ESI 4	7,7	461	66,9	64,9	5,46	S/D	< 0,010	159,7
ESI 5	7,8	322	58,5	15	2,1	S/D	< 0,010	121,5
ESI 6	8,3	2400	556,5	442,1	0,28	S/D	0,014	301,3
ESI 7	8,3	592	118,9	76,6	0,98	S/D	S/D	19,6
ESI 8	7,7	338	87,2	22,2	10,9	S/D	< 0,010	157,7
ESI 9	7,7	422	102,5	24,5	11,5	S/D	< 0,010	163,6
BAT 1	7,3	564	80	43	4	S/D	S/D	S/D
PCO 2	7,7	424	74,3	35,9	3,78	0,43	0,019	146,7
PCO 3	7,8	523	60,5	40,4	4,34	S/D	< 0,010	196,7
PCO 4	7,6	397	62,7	10,3	2,1	S/D	0,013	150
GM 2	8,6	838	142,3	94,9	0,42	0,72	0,021	95,8
GM 4	8	521	91,3	48,4	1,4	S/D	0,01	183,7
GM 6	7,8	1143	171	74,9	3,08	S/D	0,018	266,8
GM 7	8	1044	137	121,6	0,42	S/D	0,024	224,5
GM 9	7,5	383	47,3	40,7	0,28	S/D	0,024	157,6
ER 3	8,2	916	148,7	88,1	0,56	S/D	0,018	271,9
ER 4	7,6	533	85	54,6	5,6	S/D	0,025	211,7
MV 1	8,1	432	60,5	42,8	0,42	1,3	0,016	183
MV 2	7,7	212	25,8	18	1,26	S/D	S/D	73,9
MV 4	8,4	557	80,7	48,3	0,56	S/D	0,045	77,1
CDH	7,6	344	70	25	23	< 0,4	< 0,05	190

A partir de lo anterior se puede afirmar que, en general, las muestras analizadas cumplen los estándares establecidos por el CAA y resultan desde un punto de vista físico-químico potables o aptas para consumo humano.

9.3.3.2 Agua para uso pecuario

El agua para consumo animal no solo es considerada una bebida, sino que es apreciada como un alimento, ya que las sales que esta aporta son claves para el correcto desarrollo de la hacienda. Dada la variedad de actividades de desarrollo ganadero (tambos, cría intensiva, etc.), desarrollar una clasificación global de agua para bebida animal resulta imposible y poco útil. Sin embargo se puede concluir que el agua de "baja salinidad" es apta para cualquier emprendimiento (Luque, 2018).

Tomando en cuenta los datos recopilados por Luque (2018) para el instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) sobre calidad de agua para consumo animal (Tabla 9.3.3.2.1), las aguas del cordón costero medanoso clasifican como excelente a muy satisfactoria en cuanto a su salinidad, mientras que los valores de los iones analizados siempre resultan por debajo de los límites máximos establecidos.

Tabla 9.3.3.2.1: Clasificación de agua para bebida animal según salinidad y límites máximos de elementos químicos presentes (modificado de Luque, 2018).

CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Clase	Componente	Límite máximo (mg/L)
< 1500	Excelente	Arsenico	0,15-0,20
1500-5000	Muy satisfactoria	Fluor	2
5000-8000	Satisfactoria para ganado, no apta para aves.	Nitrato + Nitrito	100
8000-11000	Uso limitado para ganado	Sulfato	1000-1200
11000-16000	De uso muy limitado	Magnesio	300
> 16000	No recomendable	Cloruro	7000

Debe tenerse en cuenta que esta clasificación generalista resulta una primera aproximación y es conveniente contar con datos de tipo de pastura y demás aditivos alimenticios suministrados al ganado para poder realizar un análisis más preciso según cada actividad en particular.

9.3.3.3 Agua para riego

Dos de los mayores problemas que afectan a los suelos bajo riego son la salinización y la sodificación. Estos producen cambios en la estructura del suelo, disminuyendo la capacidad de infiltración y dificultando la captación de agua en la zona radicular de las plantas (Sánchez *et al.*, 2016). Dichos problemas se acentúan en

las zonas áridas y semiáridas, debido principalmente a los elevados valores de ETP (FAO, 2002).

La disminución de la permeabilidad del suelo no solo está en relación con la cantidad de sales totales que contenga el agua de riego, sino que, principalmente depende de la concentración de sodio en relación a las concentraciones de calcio y magnesio (Sánchez *et al.* 2016).

Atendiendo a la problemática planteada para zonas áridas y semiáridas, el análisis de calidad de agua para riego se realizó según la clasificación propuesta por Wilcox (1955). Esta tiene en cuenta la concentración de sales solubles, expresada por la conductividad eléctrica de la muestra, en conjunto con la relación que existe entre la concentración relativa de sodio respecto al calcio y magnesio (todos ellos expresados en meq/L).

Esta última relación, denominada comúnmente como RAS (relación de adsorción de sodio) se obtiene según la siguiente ecuación:

$$RAS = \frac{r(Na)}{\sqrt{\frac{r(Ca + Mg)}{2}}}$$

A partir de los valores de CE y RAS (Tabla 9.3.3.3.1), las muestras fueron ploteadas en un gráfico de doble entrada, dividido en 16 campos que reflejan la calidad que posee el agua analizada para ser utilizada en riego (Figura 9.3.3.3.1).

Tabla 9.3.3.3.1: Valores de RAS y CE obtenidos.

Muestra	RAS	CE (µS/cm)	Muestra	RAS	CE (µS/cm)
PA2	10,8	1520	PCO 4	2,0	590
ESI 1	3,1	660	GM 2	10,5	1200
ESI 2	2,8	790	GM 4	2,3	700
ESI 4	2,0	600	GM 6	6,4	1670
ESI 5	1,6	470	GM 7	6,3	1430
ESI 6	16,9	3850	GM 9	0,9	530
ESI 7	17,7	880	ER 3	4,3	1250
ESI 8	1,1	500	ER 4	1,9	730
ESI 9	1,9	590	MV 1	1,2	560
BAT 1	4,5	700	MV 2	1,1	270
PCO 2	2,5	610	MV 4	6,0	720
PCO 3	2,1	730	CDH	1,85	510

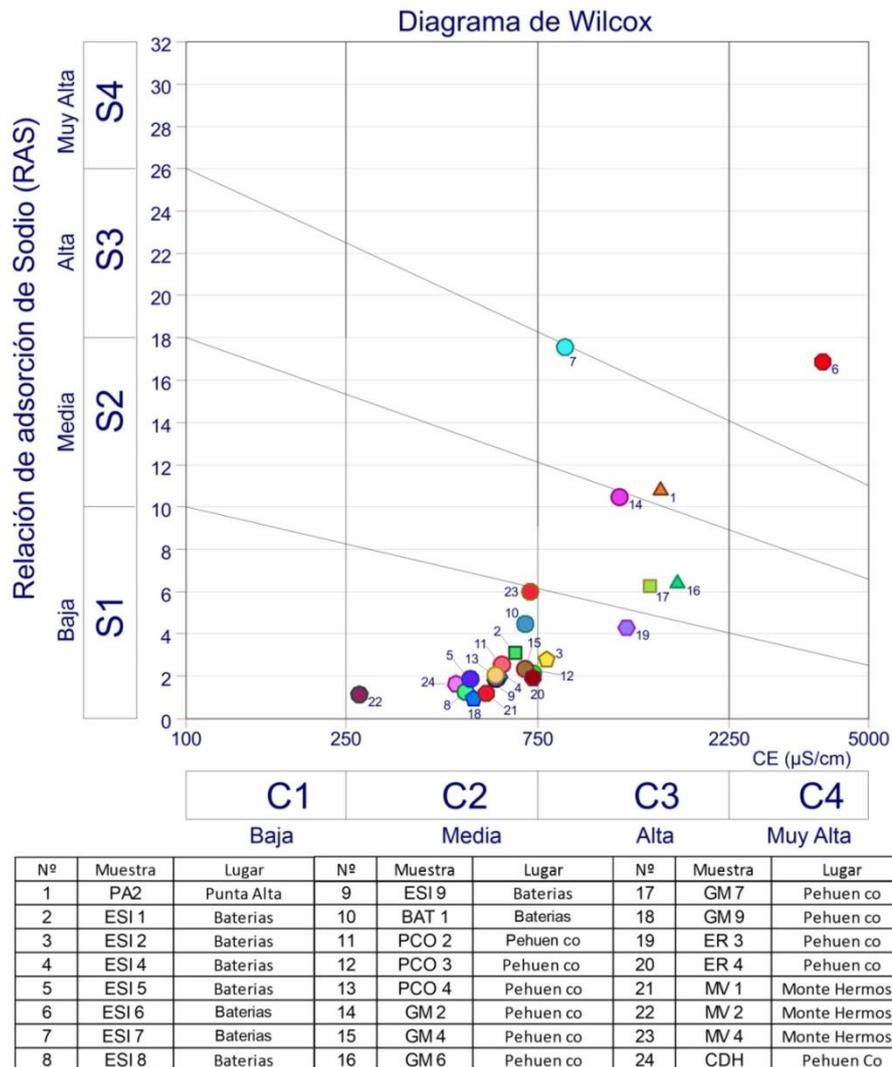


Figura 9.3.3.3.1: Ploteo de las muestras del acuífero freático en el diagrama de Wilcox.

Aplicando la metodología propuesta, se observa que el 67% (16/24) de las muestras clasifica como C2-S1, pudiendo ser utilizadas para riego sin demasiados inconvenientes en cuanto a salinidad y sodicidad.

El resto de las muestras se distribuyen en las categorías C3-S1 (8%, 2/24), C3-S2 (13%, 3/24), C3-S3 (8%, 2/24) y C4-S4 (4%, 1/24). En lo que refiere a salinidad del agua, la categoría C3 indica que no deben utilizarse en suelos de drenaje deficiente mientras que la C4, de mayor contenido salino, indica que no es apropiada para el riego en general.

Respecto al contenido de sodio, las muestras analizadas incluyen todas las categorías propuestas por la metodología. De esta manera, las muestras que

clasifican en los campos S3 y S4 se consideran no aptas para riego en condiciones normales.

Teniendo en cuenta que el suelo posee un excelente drenaje, la mayoría de las muestras analizadas exponen condiciones adecuadas para su utilización como agua para suplemento de riego. El mayor limitante resulta el contenido de sodio (categorías S3 y S4), debido a que, por su elevado tenor, superan los límites sugeridos.

9.4 Referencias bibliográficas

- Appello C. A. J y D. Postma, (1999). *Geochemistry, groundwater and pollution*. Balkema, Rotterdam.
- Bonorino G. A., (1991). Evaluación de la recarga de agua subterránea en el área de la vertiente occidental de las Sierras Australes, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* XI, VI (1-2): 93-102
- Bonorino G. A., (1994). Geohidroquímica de la lluvia en la región suroeste bonaerense. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 49 (1-2):93-98.
- Custodio, E. y Llamas, M. R., (1976). *Hidrología Subterránea*. Ed. Omega, Barcelona España. Tomos I II III y IV.
- Custodio y Llamas, (1983). *Hidrología subterránea*. Segunda edición, ediciones Omega S.A, Barcelona, España.
- Drever J. I., (1982). *The geochemistry of natural waters*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 07632. United States of America.
- FAO. (2002). *Agricultural drainage water management in arid and semiarid areas*. FAO Irrigation and Drainage paper N° 61. Roma. 188 pp.
- Hounslow, A.W. (1995) *Water Quality Data: Analysis and Interpretation*. CRC Press LLC, Lewis Publishers, Boca Raton.
- Limbozzi, F., (2011). *Elementos traza en el agua subterránea. Rol de la zona no saturada como fuente de Flúor*. Tesis doctoral en Química, Universidad Nacional del Sur.
- Luque, J. L., (2018). *Calidad de agua para bebida de animales*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Disponible en: <https://inta.gob.ar/documentos/calidad-de-agua-para-bebida-de-animales> ultimo ingreso 14/05/2021.

Sánchez, R. M.; Dunel Guerra, L.; Scherger, M. (2016). Evaluación de las áreas bajo riego afectadas por salinidad y/o sodicidad en Argentina. 1a ed. Hilario Ascasubi, Buenos Aires: Ediciones INTA.

Wilcox L. V. (1955). Classification and use of irrigation waters. United States Department of Agriculture, Circular 969. 19 p.

Capítulo 10

RESERVA, RECARGA Y RECURSO

10.1 Introducción

La correcta planificación del manejo del recurso hídrico requiere tanto el conocimiento de las demandas hídricas por parte de la sociedad y los ecosistemas, como también de la evaluación del volumen de agua disponible para satisfacerlas. La cuantificación de la recarga y reservas hídricas subterráneas es indispensable para optimizar su uso racional y sustentable en el tiempo.

10.2 Reservas

Se entiende como reserva hídrica subterránea al volumen total de agua contenida en el acuífero en un instante dado. Para su determinación es necesario conocer con la mayor precisión posible la geometría del acuífero (espesor saturado y límites espaciales) y sus características hidráulicas (coeficiente de almacenamiento, porosidad eficaz) (Custodio y Llamas, 1983). Se entiende de esta manera, para un acuífero libre, que sus reservas hídricas son el resultado del volumen saturado multiplicado por su coeficiente de almacenamiento (S) o porosidad eficaz (m_e).

Como una primera aproximación al cálculo de las reservas hídricas subterráneas (RHS), a partir de los datos geofísicos analizados en el Capítulo 6, se propone considerar un espesor saturado promedio (b) de 26 m y una superficie de estudio de 400 Km². Teniendo en cuenta el coeficiente de almacenamiento obtenido en el ensayo de bombeo (S= 0,21) el cálculo de las RHS se realiza de la siguiente manera:

$$RHS = A (\text{área}) * b (\text{espesor saturado promedio}) * S (\text{Coef. de almacenamiento})$$

$$RHS = 400 \text{ Km}^2 * 0,025 \text{ Km} * 0,21$$

$$RHS = 2,1 \text{ km}^3 = \mathbf{2.210 \text{ Hm}^3}$$

En base a esa primera aproximación, para realizar una cuantificación más precisa de las RHS, se optó por dividir la zona de estudio en sectores a partir de la densidad de datos geofísicos disponibles. De esta manera, se configuraron cuatro áreas donde el espesor promedio calculado es ponderado con una superficie específica, obteniendo un volumen acuífero más ajustado (Figura 10.2.1).



Figura 10.2.1: Subdivisión de áreas para el cálculos de reservas hídricas subterráneas.

Con este criterio, el cálculo de las RHS se realiza del siguiente modo:

$$\text{RHS área 1} = 51 \text{ Km}^2 * 0,025 \text{ Km} * 0,21 = 0,26 \text{ Km}^3$$

$$\text{RHS área 2} = 29 \text{ Km}^2 * 0,015 \text{ Km} * 0,21 = 0,09 \text{ Km}^3$$

$$\text{RHS área 3} = 260 \text{ Km}^2 * 0,035 \text{ Km} * 0,21 = 1,91 \text{ Km}^3$$

$$\text{RHS área 4} = 60 \text{ Km}^2 * 0,019 \text{ Km} * 0,21 = 0,24 \text{ Km}^3$$

$$\text{RHS total: } 2,500 \text{ Km}^3 = \mathbf{2.500 \text{ Hm}^3}$$

Se observa que la segunda metodología aplicada da como resultado un volumen de reservas 14% mayor que en el caso del primer cálculo. Se evidencia que asumir un espesor promedio para toda el área, subestima el resultado final. Sin embargo en ambos casos se concluye que las reservas hídricas subterráneas superarían los 2.000 Hm³. De esta manera, se considera que el valor que presenta menos errores asociados es el de 2.500 Hm³, evaluándose como la mejor estimación a partir de los datos disponibles.

10.3 Recarga

La recarga en un acuífero se define como el ingreso de agua proveniente del exterior de su contorno. Este ingreso puede darse por conexión hidráulica con cuerpos de agua superficiales, con otros acuíferos o por excesos en el almacenamiento de agua en la zona no saturada, que se infiltran y culminan alimentando el acuífero (Custodiom 1997).

Siguiendo los lineamientos de Lerner (1990), la recarga se puede diferenciar en:

- Recarga directa o recarga difusa, proveniente del agua de lluvia
- Recarga concentrada o indirecta, producto de cauces permanentes, estacionales y/o efímeros.
- Recarga por flujos laterales, procedentes de otros acuíferos
- Retorno de riegos, excesos de riegos o por las pérdidas en los canales de distribución.
- Recarga Urbana, producto de fugas de redes de abastecimiento y redes de alcantarillado

Los factores que influyen en el proceso de recarga son variados y no siempre de fácil cuantificación, lo que puede llevar a grandes incertidumbres en los cálculos. El hecho de trabajar con medidas u observaciones puntuales, para luego extrapolarlas a grandes áreas con variaciones espaciales y temporales implica un error implícito (Custodio *et al.*, 2000).

Lerner (1990) indica que el error más común y de mayor impacto es el planteo erróneo del modelo conceptual.

Rushton (1988) afirma que estos cálculos son mediciones de la recarga potencial, aludiendo a que el agua infiltrada puede llegar o no al nivel freático.

Carrica y Lexow (2012) y Carrica *et al.*, (2018) sugieren, a partir de experiencias propias en regiones similares a la aquí analizada y con el fin de minimizar errores, la aplicación de varios métodos de cálculo, de ser posible independientes entre sí, comparando entonces los datos obtenidos.

El modelo conceptual para el cálculo de la recarga en el área de estudio se basa en la recarga difusa, proveniente del agua de lluvia.

Se plantean dos metodologías distintas para el cálculo de la misma:

- Balance de agua en el suelo (BAS).
- Balance del ion cloruro entre la concentración en el agua de lluvia y en la capa freática.

10.3.1 Balance de agua en el suelo

Esta metodología se basa en el balance de masas, para un sistema o volumen determinado (en este caso el suelo) en un periodo de tiempo establecido.

Los datos de entrada son la precipitación (P) y la evapotranspiración potencial (ETP), los datos de salida o los obtenidos a partir del balance son la evapotranspiración real (ETR) y los excesos o recarga (R).

En lo que respecta al intervalo de tiempo analizado, los balances mensuales o anuales realizados en zonas áridas y semi áridas no dan buenos resultados, ya que suelen concluir deficitarios ($ETR > P$), con lo que se anula la posibilidad de recarga (Carrica *et al.*, 2018).

Varios autores coinciden en que la utilización de balances a paso diario en estas zonas proporciona mejores resultados, ya que las precipitaciones diarias pueden superar los valores de ETR diarios y así generar recarga en el sistema (Lerner, 1990; Scanlon *et al.* 2002, entre otros).

Para el cálculo del balance se utilizó el software Balshort V.3 (modificado de Carrica, 1993; Carrica, 2009), el cual, mediante el ingreso de datos de precipitación diaria, ETP mensual, humedad del suelo, textura (tipo de suelo) y la cobertura vegetal o tipo de cultivo (intercepción vegetal) calcula la ETR y los excesos hídricos (recarga).

Su utilización en zonas áridas y semi áridas del sudoeste bonaerense ha demostrado un buen ajuste con otras metodologías de cálculo como el balance del ion cloruro y las fluctuaciones del nivel freático (Carrica, 2009)

Para la carga de datos se utilizó una serie de 18 años de precipitación diaria del partido de Coronel Rosales brindado por INTA, datos de ETP calculada por el método de Hargreaves-Samani y la obtenida de las mediciones en tanque en la localidad de Argerich (*cfr.* Capítulo 4). El suelo fue ingresado como de textura arenosa, con una retención de hasta 24 mm, teniendo en cuenta una profundidad radicular de 30 cm (pastos con capacidad de intercepción vegetal de 5 mm) y una retención específica de 8% (arenas) (Geological Survey Water-Supply Paper 1839 D, 1967; Sánchez *et al.*, 1998). Los resultados pueden verse en la tabla 10.3.1.1.

Tabla 10.3.1.1: Resultados del software Balshort para datos de lluvia diaria y ETP según Hargreaves - Samani y Tanque tipo A.

Resultados Balshort V3.			ETP Hargreaves-Samani				ETP Tanque Argerich			
			ETR anual		Exceso anual		ETR anual		Exceso anual	
Año	P (mm)	Interceptación anual (mm)	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
2001	830	40	409	49,3	431	51,9	372,7	44,9	467,3	56,3
2002	838	36	402,2	48	435,8	52	373	44,5	464,9	55,5
2003	498	27	327,3	65,7	170,6	34,3	311	62,4	186,9	37,5
2004	924	52	512,7	55,5	406,4	44	480,5	52	437,8	47,4
2005	584	38	444,4	76,1	140,6	24,1	426,1	73	159	27,2
2006	650	49	475,1	73,1	176,9	27,2	446,8	68,7	205,9	31,7
2007	896	42	406,7	45,4	488,2	54,5	387,7	43,3	507,2	56,6
2008	466	40	349,3	75	117,6	25,2	338,8	72,7	128,2	27,5
2009	452	36	324,8	71,9	127,2	28,1	317,7	70,3	134,3	29,7
2010	605	40	437,5	72,3	167,7	27,7	424,9	70,2	180,4	29,8
2011	605	42	464,6	76,8	140,2	23,2	450,5	74,5	154,3	25,5
2012	554	44	430	77,6	120,9	21,8	412	74,4	138,2	24,9
2013	552	40	356,1	68,2	165,9	31,8	340,4	65,2	181,6	34,8
2014	869	57	462,3	53,2	408,6	47	412,9	47,5	458,5	52,8
2015	623	40	463,8	74,4	159,4	25,6	447,5	71,8	175,8	28,2
2016	579	49	447,6	77,3	131,4	22,7	433,3	74,8	145,7	25,2
2017	732	34	440,6	60,2	291,4	39,8	404,2	55,2	327,7	44,8
2018	633	43	460,3	72,7	172	27,2	431,7	68,2	200,3	31,6
Promedio	660	42	423	66	236	34	401	63	259	37

Analizando los datos anteriores se observa que la ETR varía entre 63 y 66 % de la precipitación anual, lo que da lugar a excesos hídricos interpretables como recarga.

Los excesos anuales promedio (recarga) varían entre 34 y 37%, con máximos de 56,6 y mínimos 19,8 % de acuerdo a la ETP utilizada. Esta diferencia surge debido a que la ETP calculada con la fórmula de Hargreaves-Samani resulta mayor que la medida en tanque, por lo cual los excesos son menores.

10.3.2 Balance del ion cloruro

Esta metodología se basa en la relación existente entre la concentración de ion cloruro (Cl⁻) presente en el agua de lluvia, respecto a la concentración de dicho ion en el agua del acuífero.

La concentración de Cl⁻ presente en el agua de lluvia (Cl⁻_p) se ve incrementada debido a la evapotranspiración, de modo tal que, el agua de recarga posee mayores tenores de cloruros (Cl⁻_r). El carácter conservativo del ion cloruro permite esta relación. Este incremento se conoce como factor de enriquecimiento de cloruro (FEC), siendo

$$FEC = [Cl_r^-] / [Cl_p^-]$$

En el área de estudio, dominada por depósitos arenosos donde el escurrimiento superficial es prácticamente nulo, el cálculo de la recarga con esta metodología acepta una simplificación tal que: $R = P * 1/FEC$, donde R es la recarga en mm/año y P es la precipitación media anual (mm/año).

Para efectuar los cálculos se tomó el valor promedio del ion cloruro de 20 eventos de tormenta entre 2016 y 2018, el cual fue de 0,45 meq/L. El Cl⁻ para el agua subterránea fue calculado a partir de las muestras correspondientes a seis pozos ubicados en la zona medanosa con niveles freáticos someros en áreas de recarga preferencial (tabla 10.3.2.1). La precipitación corresponde a la media de 25 años para el sector, que es de 732 mm/año.

Tabla 10.3.2.1: Valores de Cl⁻ en el agua del acuífero y valores de FEC.

Pozo	mg/L	meq/L	FEC
MV1	36,49	1,04	2,31
MV2	25,8	0,73	1,62
MV4	80,7	2,30	5,11
ER4	85	2,42	5,37
ESI 1	67,2	1,92	4,26
ESI 5	58,5	1,67	3,71
Promedio			3,73

Tomando el promedio de FEC obtenido en la tabla 10.3.2.1, el cálculo de recarga es el siguiente:

$$R = 732 \text{ mm/año} * 1/3,73$$

$$R = 196 \text{ mm/año (27\% de la P)}$$

De esta manera, la recarga media calculada con el balance del ion cloruro resulta de 27 %, con máximos de 61% y mínimos de 18%.

10.3.3 Conclusiones sobre los valores de recarga

Los valores medios calculados de recarga, utilizando distintas metodologías variaron entre 27% y 37% de la precipitación media anual. Estos resultados son congruentes con los obtenidos por Carrica *et al.*, (2012; 2018) y Di Martino (2014), para las localidades de Médanos, Monte Hermoso y Base Baterías, cuyos cálculos presentan valores entre 28 y 35 % de la precipitación media anual.

10.4 Recurso

El recurso hídrico subterráneo puede definirse como una fracción de la reserva hídrica que puede explotarse de manera sustentable (FICHS, 2009). El adjetivo sustentable implica que su utilización no condiciona su uso futuro (en cantidad y calidad), ni afecta el equilibrio dinámico del sistema a largo plazo.

De esta manera el recurso hídrico subterráneo depende del ingreso de agua al sistema en un tiempo dado, es decir de la recarga, por lo que posee unidades de caudal, mientras que la reserva hídrica posee unidades de volumen. Es posible definir el recurso hídrico potencial como el volumen de agua ingresado al acuífero a partir de la recarga. Por lo tanto, para su cálculo es necesario conocer las características geológicas y los parámetros hidrodinámicos del acuífero, así como los valores de recarga media anual y precipitaciones del área.

10.4.1 Recurso hídrico potencial

Tomando el análisis de la recarga efectuado en este capítulo, el cual indica una recarga media anual en torno al 32% y una precipitación media anual (serie Ea. El Palomar 1982-2017) de 732 mm resulta:

$$R = 732 \text{ mm/año} * 0,32$$

$$R = 234 \text{ mm / año}$$

A partir de una superficie cubierta de arenas de 400 Km² y la recarga anteriormente calculada, el recurso hídrico potencial (RHP) se obtiene como:

$$\text{RHP} = 400.000.000 \text{ m}^2 * 0,234 \text{ m / año}$$

$$\text{RHP} = 93.600.000 \text{ m}^3 / \text{año} = \mathbf{93,60 \text{ Hm}^3 / \text{año}}$$

Los cálculos realizados permiten indicar que el RHP equivaldría a un 3,8% de la reserva hídrica subterránea del área.

10.5 Demanda antrópica de agua

La Organización Mundial de la Salud recomienda un uso per cápita de agua para todo fin de 100 L diarios (OMS, 2003). Los datos de Aguas Bonaerense S.A (ABSA) para la provincia indican un promedio de 300 L por habitante (ABSA, 2019).

El centro poblacional de mayor tamaño dentro del área de estudio, es el balneario Pehuen-Có, con 681 habitantes permanentes (INDEC, 2010), pudiendo superar los 10.000 habitantes durante la estación estival (Revista Hábitat, 2014).

El otro centro urbano corresponde a la Base de Infantería de Marina Baterías, la cual posee un suministro mixto de agua (acuífero profundo y acuífero freático). Datos no oficiales estiman un número máximo de 500 usuarios.

En la zona medanosa no se registran cultivos de magnitud y la ganadería es de baja intensidad. El consumo de agua para dichos fines no se considera significativo.

Suponiendo un consumo de 300 L por persona resulta:

Pehuen-Có temporada estival: $10.000 * 90 \text{ días} * 0,3 \text{ m}^3 = 270.000 \text{ m}^3$

Pehuen-Có resto del año: $681 * 275 \text{ días} * 0,3 \text{ m}^3 = 56.182 \text{ m}^3$

Base Baterías: $500 * 365 * 0,3 \text{ m}^3 = 54.750 \text{ m}^3$

Total: 380.932 m^3

El consumo estimado es de 380.932 m^3 o **0,38 Hm³**, lo que representa el 0,4 % del recurso hídrico subterráneo y el 0,02 % de las reservas hídricas subterráneas para el total del área analizada. En particular, en el sector urbano de Pehuen-Có, el mismo razonamiento indica que la extracción de agua del acuífero para abastecimiento humano estaría en el orden al 1% del RHP.

De acuerdo a estas afirmaciones, la extracción y consumo de agua subterránea en el área, no representa una problemática en términos de cantidad, ya que los volúmenes implicados estarían muy por debajo del RHP y de hecho, en el marco de una explotación racional.

10.6 Referencias bibliográficas

ABSA, (2019). Cuidemos el agua, ABSA cambia con vos. Folleto Online En: https://www.aguasbonaerenses.com.ar/recursos/articulos_archivos/528_1923.pdf.
Último ingreso 18/02/2020.

- Carrica J., (1993). Balshort: Un programa de balance hidrológico diario del suelo aplicado a la región sudoccidental pampeana. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Actas Tomo VI:243-248.
- Carrica J, (2009). Cálculo de la recarga en zonas áridas y semiáridas. En Recarga de Acuíferos. Aspectos generales y particularidades en regiones áridas. Jorge Carrica, Mario Hernández y Eduardo Mariño (Eds). 2009. AIH-Fac. Exactas y Naturales UNLPam. ISBN 978-987-1082-39-1: 71-80. Santa Rosa.
- Carrica, J. y Lexow, C., (2012). La recarga a través de cordones medanosos en zonas semiáridas. Estudio de caso: Médanos, provincia de Buenos Aires, Argentina. XI Congreso Hidrogeológico Latinoamericano. Cartagena de Indias, Colombia. Memorias. Soporte CD.
- Carrica J., Lexow C., Ruffo A., G. y Albouy R., (2018). La importancia hidrogeológica de los cordones medanosos del sudoeste bonaerense de la provincia de Buenos Aires, Argentina. "XIV Congreso Latinoamericano de Hidrogeología, X Congreso Argentino de hidrogeología, VIII Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea". E-Book: El Agua Subterránea: Recurso sin Fronteras: Interacción Agua Superficial Agua Subterránea. Rodolfo García, Eduardo Castro, Pablo Dornes, Eduardo Kruse, Federico Moya Ruiz y Jorge W. García Editores. Salta 2018. ISBN 978-987-633-536-2. 99-106.
- Custodio, E., (1997). Recarga a los acuíferos: Aspectos generales sobre el proceso, la evaluación y la incertidumbre. La evaluación de la recarga a los acuíferos en la planificación hidrológica. E. Custodio, M. R. Llamas y J. Samper Editores. Las Palmas de Gran Canaria, Instituto Tecnológico GeoMinero de España.
- Custodio y Llamas, (1983). Hidrología subterránea. Segunda edición, ediciones Omega S.A, Barcelona, España.
- Custodio, E.; Llamas, M.R. y Sauquillo, A. (2000). Retos de la hidrología subterránea. En: Ingeniería del Agua. Vol 7. N°1: (Mar. 2000).
- Di Martino, C., (2014). Sustentabilidad del recurso hídrico subterráneo en Monte Hermoso, provincia de Buenos Aires, República Argentina. UTN-FRBB. Tesis de Magister. On line: http://www.edutecne.utn.edu.ar/tesis/tesis_Di_Martino_FRBB.pdf

- FICHS. (2009). Hidrogeología, conceptos básicos de hidrología subterránea. Fundación centro internacional de hidrología subterránea, Barcelona, España.
- Geological Survey Water-Supply Paper 1839 D. (1967). Summary of hydrologic and physical properties of rock and soil materials, as analyzed by the Hydrologic Laboratory of the U.S. Geological Survey
- INDEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos), (2010). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas, 25/10/2018, <https://www.indec.gov.ar>.
- Lerner, D.N. (1990). Techniques. En: Groundwater recharge. A guide to understanding the natural recharge. Hannover: Ed. R. van Acken GmbH. p. 99-229.
- OMS, (2003). Domestic Water Quantity, Service, Level and Health. On line: https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/wsh0302/es. Último ingreso: 18/02/2020.
- Revista Hábitat. (2014). Publicación anual de la Sociedad de Fomento "Amigos de Pehuen-Có. Nº 42. Diciembre 2014.
- Rushton, K. (1998). Numerical and conceptual models for recharge estimation in arid and semi-arid zones. En: Estimation of Natural Groundwater Recharge. Boston:Ed. Reidel, NATO ASI Series. p. 223-237.
- Sánchez, R., N. Pezzola y J. Cepeda, (1998). Caracterización edafoclimática del área de influencia del INTA E.E.A. Hilario Ascasubi, Partidos de Villarino y Patagones, Prov. de Buenos Aires. Boletín de divulgación Nº 18. INTA Hilario Ascasubi. 72 pp. (Inédito).
- Scanlon, B. R, Healy, R., and Cook, W.P.G., (2002). Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. Hydrogeology Journal Vol 10:18-39. Springer.

Capítulo 11

HUMEDALES EN EL AMBIENTE MEDANOSO

11.1 Introducción

La palabra humedal posee un gran número de definiciones, la convención sobre los humedales llevada a cabo en Ramsar, Irán en 1971, incluye todos los cuerpos de agua con profundidades menores a 6 m durante la marea baja (Manual de la convención Ramsar, 2006).

De acuerdo a las Regiones de humedales de la Argentina (Blanco *et al.*, 2017), la franja de dunas costeras se incluye en la Región de humedales costeros con "predominio de ambientes terrestres con humedales de pequeña extensión". El modelo conceptual hidrológico de estos humedales está relacionado al agua subterránea y por tanto es útil conocer cómo los acuíferos condicionan su presencia y funcionamiento. Una singularidad de este ambiente medanoso lo constituye la presencia de agua en superficie, vinculada a la descarga de agua subterránea en los sectores intermedanos o zonas topográficamente deprimidas.

El actual estado del conocimiento de la hidrología de los humedales ha permitido desarrollar modelos conceptuales de funcionamiento y métodos de clasificación. Se sigue una metodología de clasificación de humedales basada en características hidrogeomorfológicas (Figura 11.1.1), que tiene como base una tipificación que considera los factores hidrológicos dominantes como son el origen del agua, el modo de vaciado, el hidroperíodo, la tasa de renovación y elementos complementarios como hidrodinámica e hidroquímica (Manzano *et al.*, 2002).

Nivel de clasificación	1	2	3
A) ORIGEN DEL AGUA	* Epigénicos (domina origen superficial)	* Agua meteórica (lluvia, nieve/hielo, niebla); escorrentía y flujos vadosos; agua de mar; mixto	
	* Hipogénicos (domina origen si)	* De acuífero libre * De acuífero confinado * Mixto	* Flujos locales; flujos regionales * Flujos regionales; subregionales; mezcla * Indicar flujos dominantes
	* Mixtos (sin dominio claro de uno u otro)	* Aportes superficiales y subterráneos	* Indicar proceso dominante * Indicar longitud flujos
B) MODOS DE DRENAJE	* Abierto	* Escorrentía superficial * Infiltración	* Río, arroyo, manantial, recarga de acuífero libre,...
	* Cerrado	—————>	* Domina: evaporación / evapotranspiración
	* Mixto (sin dominio claro de uno u otro)	—————>	* Indicar procesos
	* Aprovechamiento humano	—————>	* Indicar modo: bombeo, drenaje, cultivo,...
C) HIDROPERIODO (duración y frecuencia de la inundación)	* Permanentes no fluctuantes * Permanentes fluctuantes	* Intervenidos: indicar tipo de intervención * Indicar causa de fluctuación	* Indicar rango de fluctuación
	* Temporales estacionales * Temporales erráticos	* Indicar periodicidad * Indicar periodicidad	* Indicar rango de fluctuación * Indicar rango de fluctuación
	* Mareales	* Micromareales * Mesomareales * Macromareales	* Indicar detalles adicionales * Indicar detalles adicionales * Indicar detalles adicionales
		—————>	
D) TASA DE RENOVACIÓN (balance de agua y sales)	* Alta * Media * Baja	—————>	* En los tres: indicar valores de los componentes del balance de agua y de sales; indicar frecuencia y porcentaje de renovación
Información complementaria a añadir (si está disponible):			
E) COMPOSICIÓN QUÍMICA DOMINANTE DEL AGUA (y su variabilidad espacial/temporal)			
F) HIDRODINÁMICA (configuración de los flujos en la cubeta y entre ésta y el terreno)			

Figura 11.1.1: Esquema simplificado de clasificación de humedales (modificado de CMAJA, 2002 en Manzano *et al.*, 2002).

En este apartado se analizarán los casos de las lagunas Sauce Grande y Unamuno, ubicadas en el límite norte de la cadena de médanos y las pequeñas lagunas u ojos de agua presentes en algunos sectores interdunales del cordón costero

11.2 Tipificación y clasificación hidrológica de los humedales

11.2.1 Laguna Sauce Grande

La Laguna Sauce grande se presenta como un cuerpo permanente de agua salobre, de escasa profundidad (hasta 2 m), ubicada en el partido de Monte Hermoso, a 4 km al noroeste de la ciudad homónima.

Sus fuentes de llenado la componen el río Sauce Grande, el cual alimenta la laguna desde el sector oeste con un caudal medio de 2,7 m³/s (EdiUNS, 2005) y la descarga de agua subterránea proveniente de los acuíferos alojados tanto en los sedimentos pampeanos al norte, como en el cordón de dunas costeras al sur de la laguna. La descarga subterránea se desprende del análisis del mapa freaticométrico del partido de Coronel Dorrego (EdiUNS, 2005) y de datos de niveles piezométricos medidos en el cordón de dunas costeras (*cf.* Capítulo 8).

El vaciado se produce principalmente a través de una desembocadura existente en su extremo este, donde el río Sauce Grande continúa su camino hasta finalizar kilómetros después, en el mar. Otro factor o término de salida es la evaporación directa del cuerpo de agua y la evapotranspiración generada por la vegetación que dominan sus costas, la cual se infiere a partir de los datos de evapotranspiración potencial calculados para el área.

Al encontrarse en una región árida a semiárida, la variación de los caudales erogados por el río Sauce Grande depende de la estacionalidad de las precipitaciones y de la descarga de agua subterránea al curso (caudal básico). Estos dos aspectos se encuentran íntimamente relacionados a las series de años secos y húmedos. A su vez las tomas ilegales de agua para riego disminuyen de manera evidente el caudal del río. Esto influye directamente en la laguna, reduciendo su tamaño y desmejorando la calidad química del agua en periodos de sequía extensa (Figura 11.2.1.1). Hidroquímicamente, el cuerpo de agua se presenta como oligohalino con una salinidad de 3,5 g/L y pH 9 (Ferrer *et al.*, 2012).

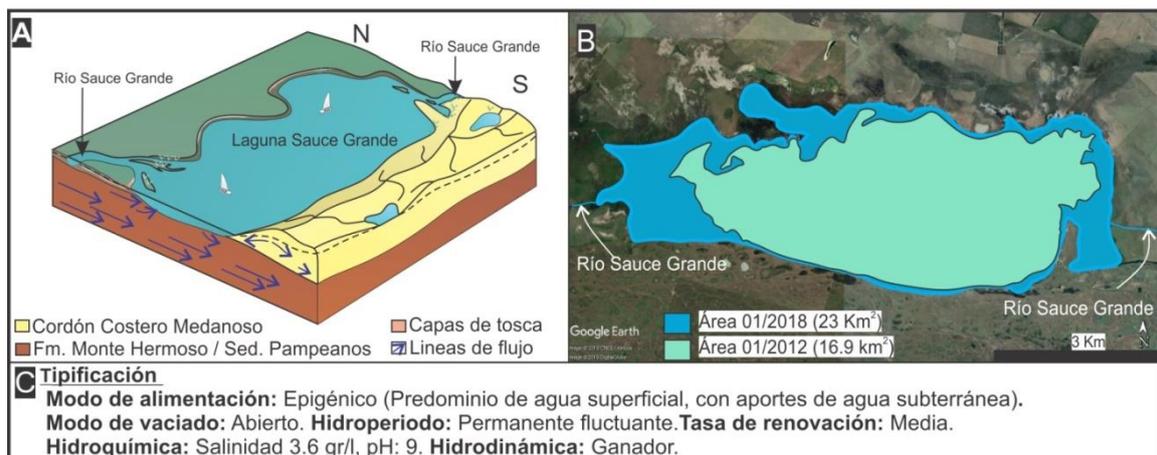


Figura 11.2.1.1: A) Modelo de hidrogeológico de la Laguna Sauce Grande. B) Variaciones areales de la laguna. C) Tipificación hidrológica.

11.2.2 Humedales de interduna

Las dunas o médanos costeros son geofomas dinámicas, las cuales deben su origen a las acumulaciones de sedimentos transportados por el viento. Este agente modela la superficie de las mismas, generando sectores tanto de depositación como de erosión. Es así que, entre la cresta y el seno de un médano puede haber una diferencia de altura significativa.

El nivel freático del acuífero libre alojado en el cordón costero, copia de forma suave la topografía del mismo. En épocas húmedas, cuando la recarga aumenta,

suele ocurrir que, en sectores topográficamente bajos entre las crestas de los médanos el nivel freático iguala o supera al topográfico, generando zonas inundadas o anegadas. Dichos sectores conforman los humedales de inter-duna, también llamados ojos de agua. Las oscilaciones del nivel freático analizadas entre Agosto del 2019 y Septiembre de 2021 no superan los 46 cm.

Como se dijo, la presencia de estos humedales depende de las oscilaciones del nivel freático, aunque algunos se encuentran de manera permanente mientras que otros son temporales y estacionarios. El modo de vaciado es por evaporación directa del cuerpo de agua, evapotranspiración y descenso del nivel freático.

Hidroquímicamente, el agua de estos humedales tiende a contener más sales que el agua del acuífero que los alimenta. Esto sucede debido a la concentración de sales, producto de la evaporación del cuerpo de agua. La conductividad eléctrica registrada en los humedales ronda los 1800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que en el acuífero freático promedia los 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estos valores pueden aumentar durante la estación estival y/o periodos secos (Figura 11.2.2.1).

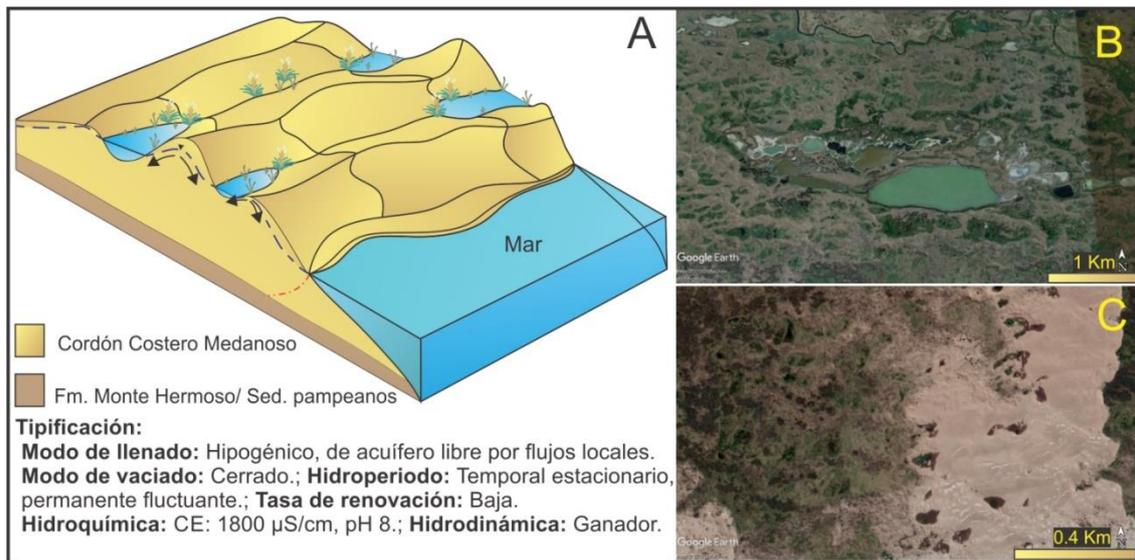


Figura 11.2.2.1: A) Modelo de funcionamiento de los humedales en el ambiente de dunas y tipificación. B) Humedal de inter-duna permanente y fluctuante. C) Humedal de inter-duna temporal y estacionario.

11.2.3 Laguna Unamuno

Ubicada a 18 km al noroeste de la localidad de Pehuen-Có se encuentra la laguna Unamuno. Se presenta como un cuerpo de agua permanente de poca

profundidad (menor a 4 metros) emplazada en el sector limítrofe entre el cordón costero medanoso y la llanura pampeana.

Su fuente de alimentación la componen el acuífero freático de la llanura y los aportes estacionales, en períodos húmedos, del acuífero libre en las dunas y del arroyo Napostá chico (Figura 11.2.3.1). Esta laguna constituye el nivel de base del arroyo configurando así el sector inferior de su cuenca, de tipo endorreica. Dicho arroyo alcanza o alimenta a la laguna solo en los períodos húmedos, ya que, durante el resto del año, su caudal es muy bajo y se infiltra en la llanura pampeana antes de arribar al cuerpo de agua. Su influencia es estacional, la cual puede ser considerable. Como otro término de llenado no habría que descartar la descarga de un flujo somero y local desde las dunas hacia la laguna.

Su vaciado se produce por evaporación directa y evapotranspiración. Analizando el mapa piezométrico del sector no habría que descartar transferencia de agua desde la laguna a los médanos y al acuífero pampeano subyacente, durante períodos secos, cuando el nivel freático en las dunas está por debajo del pelo de agua de la laguna (Figura 11.2.3.1).

Si bien la laguna es de carácter permanente, la variación de su superficie de acuerdo al advenimiento de años pluviométricamente secos y húmedos es notable. Durante el año 2002, donde la media pluviométrica para el período comprendido entre los años 1999 y 2002 fue de 925 mm/a, su superficie ocupó unos 15 km². La superficie de la laguna durante el año 2011 se vio reducida a 1 km². Esta notable disminución coincide con una serie de años secos (2008-2011), donde las precipitaciones ocurridas presentaron un valor medio de 466 mm/a (Figura 11.2.3.1).

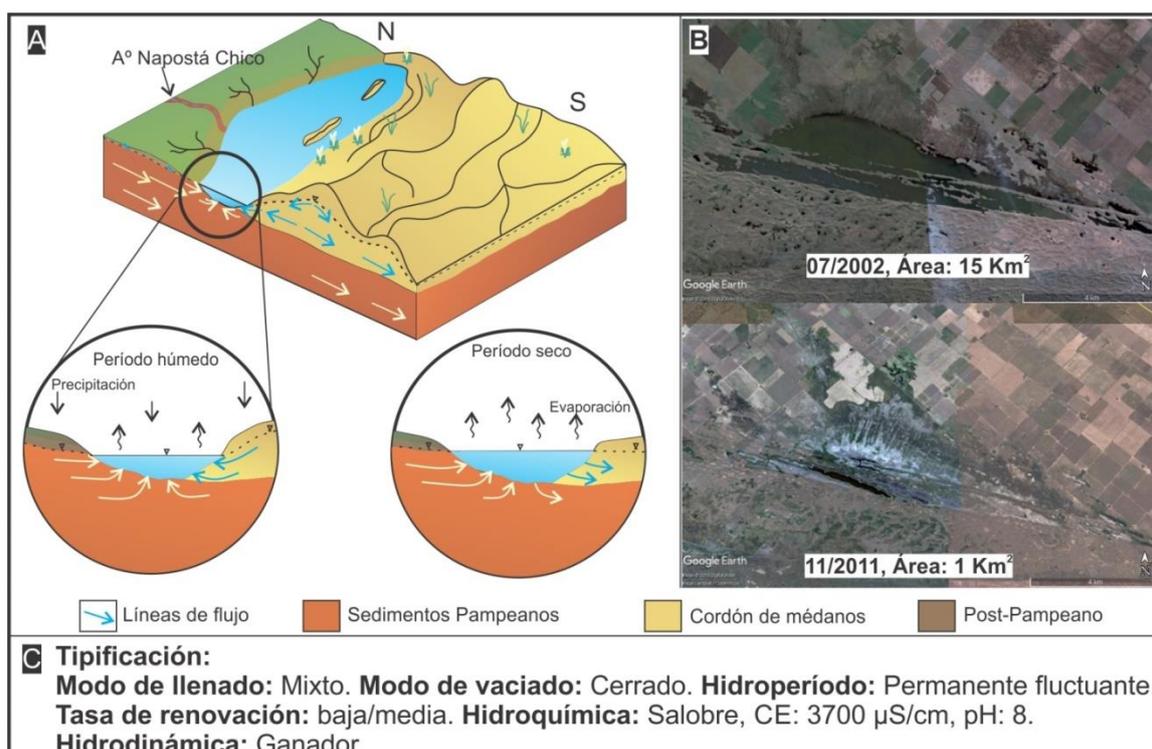


Figura 11.2.3.1: A) Modelo de funcionamiento hidrogeológico de la Laguna Unamuno. B) Variación en la superficie de la laguna. C) Tipificación hidrológica.

El agua de la laguna es salobre, de pobre calidad química, presentando una conductividad eléctrica de 3700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y un pH 8. Dichas características desmejoran aún más durante los periodos secos por evaporación y concentración de sales (Bohn et al., 2007).

11.3 Discusión

La importancia de los humedales como sustento de la biodiversidad y proveedor de servicios ecosistémicos resulta un aspecto aceptado y difundido tanto en la comunidad científica como en los medios sociales (Piñar Alvarez *et al.*, 2017). Sin embargo la relación entre el agua subterránea y superficial en estos ambientes es un tema poco difundido y complejo (Ameli y Creed, 2017).

La investigación sobre los procesos de interacción entre los distintos elementos del balance hídrico, es la base para comprender el funcionamiento de estos sistemas (Custodio, 2010). Gran parte de la dificultad respecto al estudio de esos cuerpos radica en la falta de información de campo o el difícil acceso a las zonas de estudio, transformando la utilización de imágenes satelitales en una herramienta fundamental (Halabisky *et al.*, 2016).

Los humedales en zonas llanas suelen depender del agua subterránea, convirtiéndose en áreas de descarga de los acuíferos (Custodio, 2010; Romanelli *et al.*, 2010). En la zona de estudio, la información piezométrica disponible, permite vincular la presencia de los humedales con la hidrodinámica subterránea. Esta conexión hidráulica es una característica común entre el agua superficial de la llanura pampeana y el acuífero freático (Kruse y Zimmermann, 2002).

Los humedales de interduna están relacionados a los sectores de descarga del flujo local del acuífero. Su vaciamiento depende de las oscilaciones del nivel freático y la evaporación.

Las lagunas Sauce Grande y Unamuno, tienen un modo de llenado epigénico y mixto respectivamente y reciben descarga de agua subterránea. El modo de vaciado de la laguna Unamuno es cerrado, mientras que la Laguna Sauce Grande presenta un egreso de agua superficial constante.

Si bien el estado del conocimiento no permite una formulación cuantitativa de los términos del balance hídrico, el análisis de imágenes satelitales y los registros pluviométricos ponen de manifiesto una relación directa entre las precipitaciones y la variación del almacenamiento superficial del agua, coincidente con lo observado por Bohn *et al.* (2007). Desde un punto de vista químico, los datos de salinidad y conductividad eléctrica solo revelan que las aguas de los humedales están más mineralizadas que la subterránea, entre 2 y 5 veces para los cuerpos lagunares y 2,5 veces para los humedales de interduna. Este incremento se relacionaría al aporte de sales del agua de llenado y a su concentración por evaporación, consistente con las características áridas-semiáridas de la zona de estudio, la cual presenta un recurrente déficit hídrico.

11.4 Referencias bibliográficas

- Ameli, A. A. y Creed, I. F., (2017). Quantifying hydrologic connectivity of wetlands to surface water systems. *Hydrology and Earth System Sciences* 21: 1791–808
- Custodio, E., (2010). Las aguas subterráneas como elemento básico de la existencia de numerosos humedales. *Ingeniería del Agua*, 17(2): 119–135.
- Blanco, L., R. Bo, P. Kandus, G. Lingua, P. Minotti y R. Quintana (editores), (2017). *Regiones de humedales de la Argentina*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo

- Sustentable. Fundación Humedales/Wetlands International. Universidad Nacional de San Martín y Universidad Nacional de Buenos Aires. 337 pp.
- Bohn, V., Piccolo, M., Perillo, G., (2007). Potencial uso agrícola del agua de la laguna Unamuno. Buenos Aires, Argentina. Asociación Española de Ecología Terrestre, Ecosistemas 16 (2): 77-85.
- CMAJA, (2002). Plan Andaluz de Humedales. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Disponible en <http://www.juntadeandalucia.es>.
- EdiUNS, (2005). Geoambiente y evaluación de las aguas freáticas del Partido de Coronel Dorrego (Provincia de Buenos Aires). Juan Darío Paoloni y Magdalena González Uriarte Editores.
Editorial de la Universidad Nacional del Sur. Buenos Aires, 108 pp.
- Ferrer, N.C, Cony, N.L, Fornerón, C.F. y Piccolo, M.C., (2012). Caracterización del fitoplancton y estado trófico de la laguna Sauce Grande (Provincia de Buenos Aires, Argentina) en el otoño de 2010. Biología Acuática N° 27. 129-141.
- Halabisky, M., Moskala, L. M., Gillespie, A. Hannam, M., (2016). Reconstructing semi-arid wetland surface water dynamics through spectral mixture analysis of a time series of Landsat satellite images (1984–2011). Remote Sensing of Environment, Volumen 177: 171-183.
- Kruse, E. y Zimmermann, E., (2002). Hidrogeología de Grandes Llanuras. Particularidades en la Llanura Pampeana (Argentina). Workshop. Groundwater and Human Development. XXXII IAH Congress. Mar del Plata, Argentina.
- Manual de la Convención de Ramsar (2006). Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971), 4a. edición. Gland (Suiza): Secretaría de la Convención de Ramsar. On line: www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/lib_manual2006s.pdf.
Ultimo ingreso: 26/02/2020.

Manzano, M., F. Borja y C. Montes., (2002). Metodología de tipificación hidrológica de los humedales españoles con vistas a su valoración funcional y a su gestión. Aplicación a los humedales de Doñana. Boletín Geológico y Minero, 113 (3): 313-330.

Piñar Alvarez, M., A., Wojtarowski Leal. A., Martínez-Vázquez. M., L., (2017). Dunas costeras en Veracruz, México: Conservación y uso para la cohesión social desde la percepción local. Regions and Cohesion, Volumen 7, Issue 1, 40-68.

Romanelli, A., Quiroz Londoño, O. M., Massone, H. E., Martinez, D. E. y Bocanegra, E. (2010). El agua subterránea en el funcionamiento hidrológico de los humedales del Sudeste Bonaerense, Buenos Aires, Argentina. Boletín Geológico y Minero de España, 121 (4): 373-386

Capítulo 12

VULNERABILIDAD Y PELIGRO DE CONTAMINACIÓN

12.1 Introducción

El desarrollo de toda sociedad implica un aumento en la demanda de recursos, la cual no siempre es planificada. Es así que muchas de las fuentes de las cuales el hombre se abastece, en este caso el agua subterránea, pueden ser afectadas de manera irreversible.

Para proteger un recurso es necesario, en primera instancia, conocerlo y cuantificar su grado de vulnerabilidad, entendiéndose la misma como una propiedad intrínseca del medio, que determina la sensibilidad a ser adversamente afectado por un contaminante externo (Foster, 1987).

Vrba y Zaporozec (1994) dividen la vulnerabilidad en dos tipos, natural (o intrínseca) y específica. La primera hace referencia a la suma de los atributos naturales del acuífero (litológicos, hidráulicos y recarga) que determinan las cualidades o aptitudes que posee para enfrentar un impacto. La segunda en cambio, implica la capacidad que posee el acuífero de enfrentar un contaminante en concreto, entrando en juego aspectos variables como tiempos de tránsito o características del contaminante en particular.

Otro concepto es el de peligro de contaminación, el cual tiene en cuenta la salud humana. Puede definirse como la interacción entre la intensidad de la carga contaminante antrópica y la vulnerabilidad del acuífero (Foster e Hirata, 1988)

Como ejemplo se puede suponer que un acuífero posee una vulnerabilidad alta a ser contaminado por residuos radiactivos, pero si esa actividad no existe en el sector el peligro de contaminación es nulo.

12.2 Evaluación de la vulnerabilidad

Existen varias metodologías para el cálculo de la vulnerabilidad de un acuífero. Dentro de las más reconocidas se destacan la metodología GOD (Foster, 1987; Foster e Hirata, 1988) y DRASTIC (Aller *et al.*, 1987).

Utilizando datos sobre distintos aspectos del acuífero estas metodologías permiten cuantificar la vulnerabilidad, expresándola en valores numéricos. Su mayor utilidad radica en la posibilidad de generar mapas de vulnerabilidad del acuífero.

12.2.1 Metodología GOD

Este método es ideal para zonas con escasa información o distribución irregular de las mediciones o datos. Es de tipo multiplicativo con el objeto de facilitar la aplicación del mismo. La vulnerabilidad se estima multiplicando los índices asignados a los siguientes parámetros (Tabla 12.2.1.1).

Tabla 12.2.1.1: Componentes del Índice GOD.

G	Grado de confinamiento hidráulico. Régimen hidráulico del agua subterránea: evalúa el tipo de acuífero (libre, semiconfinado, confinado).
O	Ocurrencia del sustrato suprayacente: litología y grado de consolidación de la zona no saturada o capas confinantes.
D	Distancia al agua subterránea: profundidad al nivel freático, asignando mayores índices a profundidades menores o más cercanas a la superficie.

Los índices se asignan de acuerdo a la similitud que poseen las características del acuífero con las propuestas por Foster (1988) y Foster *et al.*, (2002), expuestas en la Figura 12.2.1.1. El resultado de la multiplicación de estos índices da como consecuencia un valor numérico entre 0 y 1, que califica la vulnerabilidad según la siguiente escala: no significativa (0-0,1); baja (0,1-0,3); moderada (0,3-0,5); alta (0,5 a 0,7) y extrema (0,7-1).

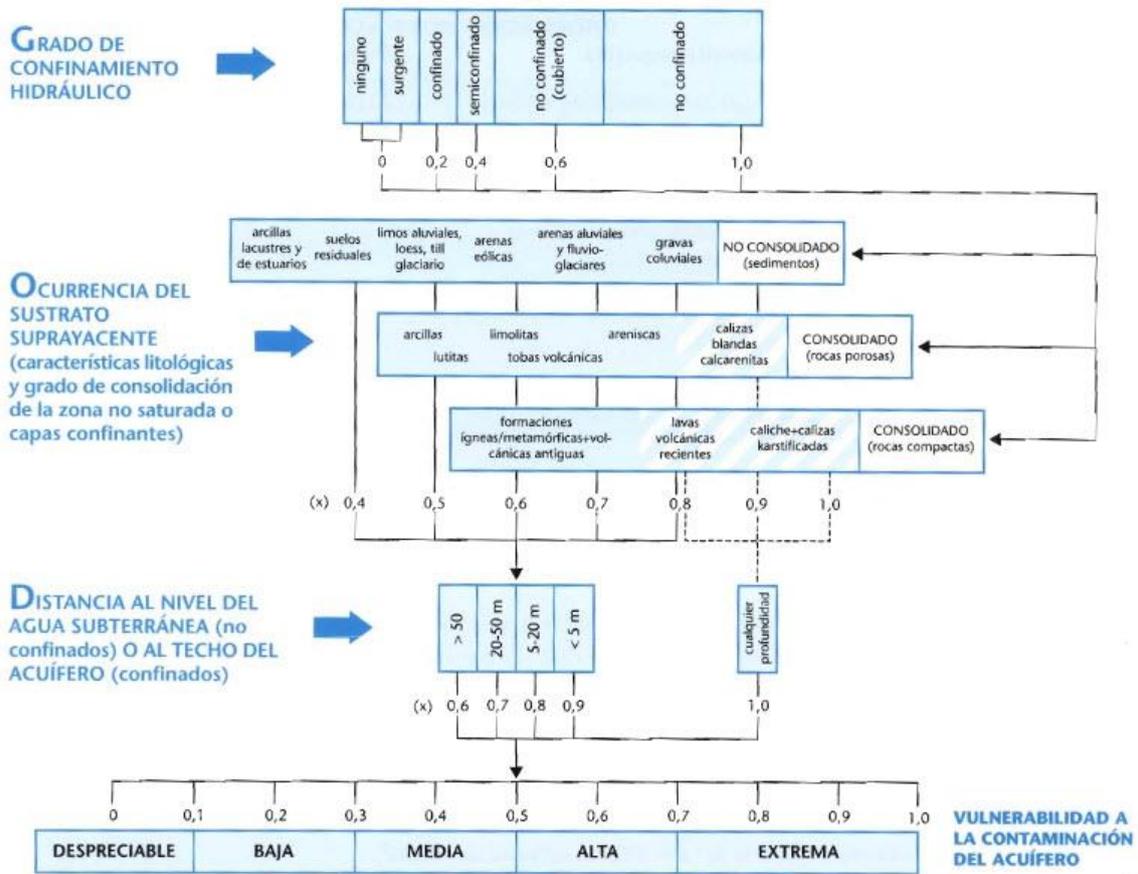


Figura 12.2.1.1: Cuadro de la metodología GOD, extraído de Foster *et al.*, (2002).

El grado de confinamiento hidráulico que posee el acuífero en estudio lo califica como acuífero libre, por lo que al índice G se le asigna el valor máximo, 1.

El sustrato suprayacente, es decir la zona no saturada, se compone de arenas eólicas sueltas o no consolidadas. El valor para el índice O es 0,6.

En lo que respecta a distancia al nivel del agua (espesor de la zona no saturada) se registraron dos escenarios distintos. A partir de la confección del mapa isopáquico de la zona no saturada es posible diferenciar dicho espesor en tres intervalos; menor a 5 m, entre 5 y 10 m y entre 10 y 15 m (Figura 12.2.1.2).

De esta manera, ingresando dichos valores al índice D, el mismo se pondera como 0,9 para el área con niveles freáticos a menos de 5 m de profundidad y de 0,8 para los sectores con profundidades del nivel freático que se encuentran entre 5 y 20 m.

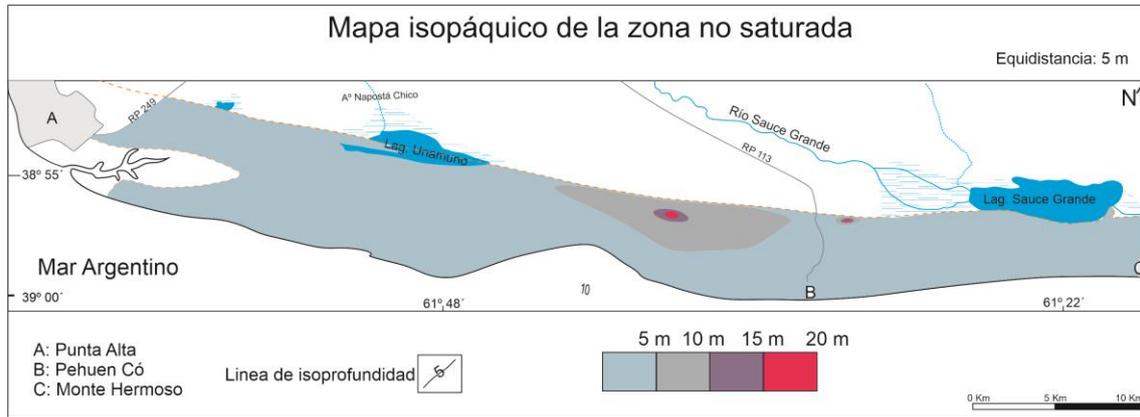


Figura 12.2.1.2: Mapa de espesor de la zona no saturada.

Los cálculos de vulnerabilidad resultan:

Sectores con distancia al nivel freático menor a 5 m:

$$\text{Vulnerabilidad} = 1 * 0,6 * 0,9$$

$$\text{Vulnerabilidad} = 0,54$$

Sectores con distancia al nivel freático entre 5 y 20 m:

$$\text{Vulnerabilidad} = 1 * 0,6 * 0,8$$

$$\text{Vulnerabilidad} = 0,48$$

La vulnerabilidad calculada en primer instancia clasifica como Alta, mientras que la calculada en segundo término clasifica como Moderada. Esta diferencia depende únicamente de la profundidad a la que se encuentra el nivel freático, quedando configurado el mapa de vulnerabilidad del acuífero freático de la siguiente manera (Figura 12.2.1.3).

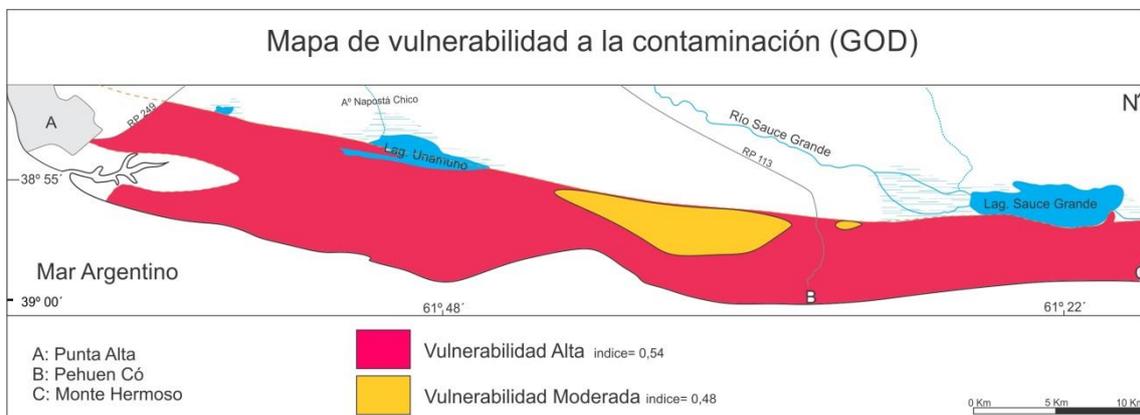


Figura 12.2.1.3: Mapa de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero freático (GOD).

12.2.2 Metodología DRASTIC

Esta metodología, desarrollada por Aller *et al.*, (1987) para la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos de América, opera considerando siete características referentes al acuífero y a la zona no saturada. A las mismas se le asigna un valor fijo, establecido de acuerdo a su incidencia o importancia relativa (peso o **w**) el cual es multiplicado por un valor estipulado por tabla según las características del medio (puntaje o **r**).

Los factores analizados son los siguientes:

- D - Profundidad al acuífero
- R - Recarga neta
- A - Tipo de acuífero
- S - Tipo de suelo
- T - Topografía (pendientes)
- I - Impacto de la zona vadosa
- C - Conductividad hidráulica del acuífero

El índice de vulnerabilidad resulta de:

$$Iv = (Dr * Dw) + (Rr * Rw) + (Ar * Aw) + (Sr * Sw) + (Tr * Tw) + (Ir * Iw) + (Cr * Cw)$$

El índice de ponderación para cada parámetro se indica en la tabla 12.2.2.1

Tabla 12.2.2.1: Valores de w para cada parámetro.

Dw	Rw	Aw	Sw	Tw	Iw	Cw
5	4	3	2	1	5	3

Los valores asignados **r** dependen de las características del medio y se muestran en la Figura 12.2.2.1.

(D) PROFUNDIDAD DEL NIVEL PIEZOMÉTRICO		(R) RECARGA NETA	
RANGO (m)	VALOR	RANGO(mm)	VALOR
< 1,5	10	0-50	1
1,5-5	9	50-100	3
5-10	7	100-180	6
10-20	5	180-255	8
20-30	2	>255	9
>30	1		

(A) NATURALEZA DEL ACUÍFERO			(S) NATURALEZA DEL SUELO	
DESCRIPCIÓN	RANGO	VALOR	TIPO DE SUELO	VALOR
A-Arcillas, margas, limos	1-3	2	Arcilla no expansiva y agregada	1
B-Igneas/metamórficas	2-5	3	Suelo orgánico	2
C-Igneas/metamórficas alteradas	3-5	4	Marga arcillosa	3
D-Alternancia de areniscas, arcillas y calizas	5-9	6	Marga limosa	4
E-Areniscas masivas	4-9	6	Marga	5
F-Calizas masivas	4-9	6	Marga arenosa	6
G-Arenas, gravas y conglomerados	4-9	8	Arcilla expansiva y/o agregada	7
H-Volcánicas	2-10	9	Turba	8
I-Calizas carstificadas	9-10	10	Arena	9
			Grava	10
			Delgado o ausente	10

(T) TOPOGRAFÍA		(C) PERMEABILIDAD	
RANGO %	VALOR	RANGO (m/día)	VALOR
0- 2	10	<4	1
2- 6	9	4-12	2
6-12	5	12-28	4
12-18	3	28-40	6
> 18	1	40-80	8
		>80	10

(I) IMPACTO DE LA ZONA NO SATURADA		
DESCRIPCIÓN	RANGO	VALOR
A-Arcilla, limo, margas	1-2	1
B-Esquistos, pizarras	2-5	3
C-Calizas	2-7	6
D-Areniscas	4-8	6
E-Alternancia de calizas, areniscas y arcillas	4-8	6
F-Arenas y gravas con contenido en arcilla	4-8	6
G-Metamórficas, igneas	2-8	4
H-Arenas y gravas	6-9	8
I-Volcánicas	2-10	9
J-Calizas carstificadas	8-10	10

Figura 12.2.2.1: Rangos y valores normales para los índices (Aller *et al.*, 1987, en Martínez *et al.*, 1998).

El resultado de los cálculos se interpreta siguiendo los valores establecidos en la tabla 12.2.2.2

Tabla 12.2.2.2: Intervalos de vulnerabilidad DRASTIC.

Muy baja	Baja	Moderada	Alta	Muy alta
23-64	65-105	106-146	147-187	188-230

Iniciando por el índice D, existen 4 situaciones distintas. Dentro del área de estudio se encuentran sectores con el nivel freático entre 0 y 1,5 m; 1,5 y 5 m; 5 y 10 m y entre 10 y 15 m. El valor r para cada situación resulta de **10**, **9**, **7** y **5** respectivamente.

El índice R, referente a la recarga, toma un valor de **8** (recarga entre 180 y 255 mm/año), a partir de los datos calculados en el capítulo 10.

Para la naturaleza del acuífero (A) se opta por un valor de **8**, correspondiente a litologías psamíticas.

La naturaleza del suelo es netamente arenosa, por lo que el índice S toma un valor de **9**.

El valor asignado al índice correspondiente a la topografía se basa en que a mayor pendiente menor acumulación de agua se produce sobre la superficie, por lo cual la infiltración en el suelo se deduce menor. Dadas las características psamíticas del área de estudio (rápida infiltración), la ausencia de redes de drenaje y la existencia de grandes rangos de pendiente en los médanos, la ponderación de este índice resulta engañosa. Se opta por tomar un valor medio de **5**. Cabe aclarar que el peso o importancia de este índice en relación con el resto es mínima ($T_w = 1$)

Al índice I, correspondiente al impacto de la zona no saturada, se le asigna un valor de **8** (arenas y gravas).

Por último para el índice C, correspondiente a la conductividad hidráulica, se asigna un valor de **4** ($12 < K < 28$).

Los cálculos para las cuatro situaciones existentes son los siguientes:

- Nivel freático entre 0 y 1,5 m:

$$I_v = (5 \cdot 10) + (4 \cdot 8) + (3 \cdot 8) + (2 \cdot 9) + (1 \cdot 5) + (5 \cdot 8) + (3 \cdot 4)$$

$$I_v = 181$$

- Nivel freático entre 1,5 y 5 m:

$$I_v = (5 \cdot 9) + (4 \cdot 8) + (3 \cdot 8) + (2 \cdot 9) + (1 \cdot 5) + (5 \cdot 8) + (3 \cdot 4)$$

$$I_v = 176$$

- Nivel freático entre 5 y 10 m:

$$I_v = (5 \cdot 7) + (4 \cdot 8) + (3 \cdot 8) + (2 \cdot 9) + (1 \cdot 5) + (5 \cdot 8) + (3 \cdot 4)$$

$$I_v = 166$$

- Nivel freático entre 10 y 20 m:

$$Iv = (5*5) + (4*8) + (3*8) + (2*9) + (1*5) + (5*8) + (3*4)$$

$$Iv = 156$$

Siguiendo el criterio de clasificación descrito en la tabla 12.2, para todas las situaciones planteadas con la metodología DRASTIC, la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero freático clasifica como Alta.

12.3 Inventario de las actividades potencialmente contaminantes y caracterización del índice de carga contaminante (ICC) para el sector de Pehuen-Có

El agua es un bien escaso e indispensable para la vida humana, de gran importancia en el desarrollo social, productivo y económico de una región, razón por la cual la gestión sustentable del recurso hídrico cobra especial relevancia. En la localidad de Pehuen-Có, la única fuente de abastecimiento de agua para consumo humano corresponde al acuífero freático, la cual se realiza mediante captaciones particulares. A su vez no existe un sistema de saneamiento de efluentes (cloacas). Teniendo en cuenta estos dos factores, contar con un inventario de fuentes potenciales de contaminación, así como la estimación de los valores de su índice de carga contaminante (ICC) es de gran utilidad.

El inventario sistemático de las actividades potencialmente contaminantes se realizó siguiendo lo sugerido por USEPA (1991), identificándolas y ubicándolas espacial, areal y temporalmente (período de funcionamiento). A su vez, dichas actividades fueron categorizadas como difusas, multipuntuales y puntuales, según los criterios propuestos por Foster *et al.* (2002). El tipo de inventario y su grado de detalle deben estar en virtud del objetivo final del trabajo, tamaño del área considerada, la variedad de actividades en la misma y la disponibilidad de datos existentes, entre otros.

La caracterización del índice de carga contaminante (ICC), para cada una de estas actividades, fue realizado en función de cuatro características fundamentales y semi-independientes (Foster *et al.*, 2002), como se muestra en la Figura 12.3.1:

- La clase de contaminante involucrado, definida por su persistencia en el ambiente subterráneo (por actividad bacteriológica y reacciones químicas) y su coeficiente de retardo (relacionado con el flujo del agua subterránea en el ambiente).

- La intensidad de la contaminación, definida por la concentración de cada contaminante considerado (en relación a valores guía de la OMS) y la proporción de la recarga involucrada en el proceso.
- El modo en que el contaminante es descargado al subsuelo, definido por la carga hidráulica (incremento sobre la tasa de recarga natural o sobrecarga hidráulica) y la profundidad del nivel freático, donde el efluente o lixiviado es descargado o generado.
- La duración de la aplicación de la carga contaminante, definida por la probabilidad de descarga del contaminante al subsuelo (ya sea intencional, incidental o accidental) y por la duración de la aplicación de dicha carga en el subsuelo.

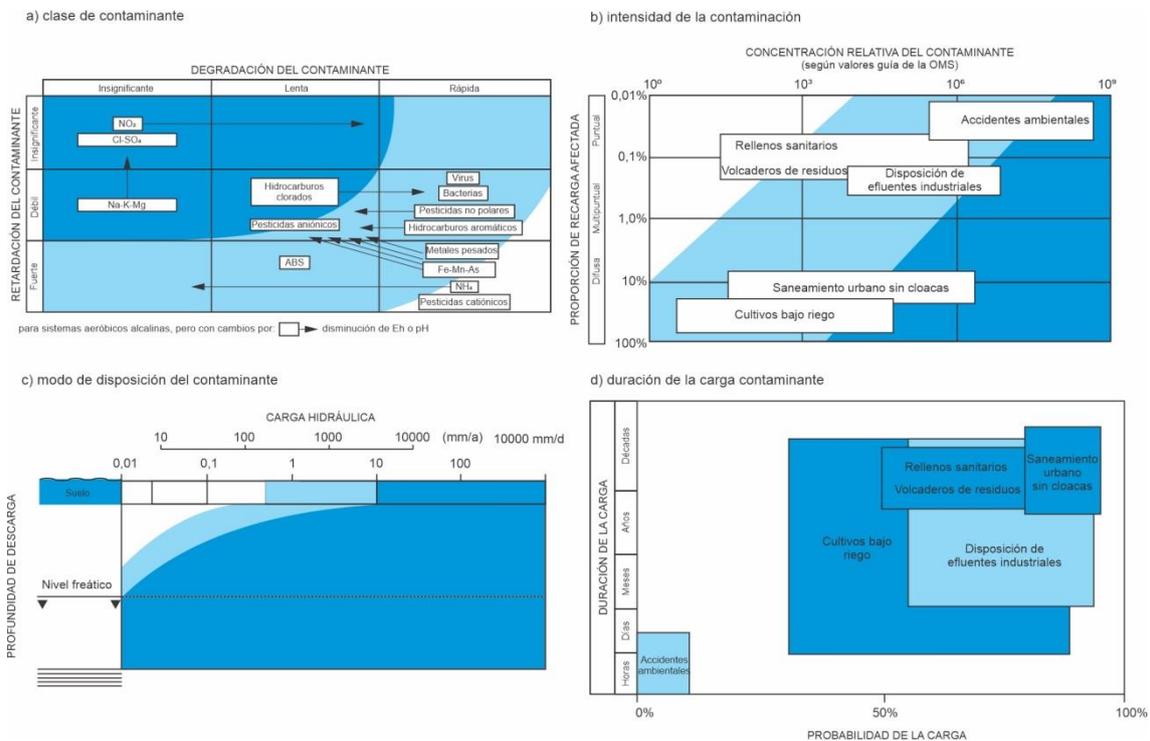


Figura 12.3.1: Caracterización de la carga contaminante según sus características fundamentales (Foster *et al.*, 2002).

El valor del ICC se obtiene a partir de la sumatoria de los valores asignados a cada una de estas cuatro características fundamentales multiplicadas por un factor de peso homogéneo de 0,25. En base a esta valoración, el ICC de cada actividad se clasifica como reducido (0 - 0,30), moderado (0,31 - 0,60) o elevado (0,61 - 1). En los gráficos Clase de contaminante y Modo de disposición cada cuadrante tiene una calificación determinada. En los casos correspondientes a Intensidad y Duración, el valor relativo se calcula mediante interpolación lineal. Los aspectos teóricos y prácticos

sobre la persistencia y movilidad de las sustancias consideradas y su relación con el medio físico, tanto en la zona no saturada como en la zona saturada (acción bacteriana, adsorción, solubilidad, capacidad de intercambio catiónico, hidrólisis, etc.), resultan de gran importancia al efectuar estas valoraciones.

El inventario realizado permitió identificar cuatro actividades potencialmente contaminantes, a saber: Estación de servicio (Es), basural a cielo abierto (Bca), posibles derrames accidentales (Da) y falta de servicio cloacal en la totalidad del área urbana (Usc) (Figura 12.3.2). Estas actividades fueron clasificadas como fuentes puntuales en los primeros casos y como difusa-multipuntual en el último.



Figura 12.3.2: Identificación de actividades potencialmente contaminantes.

- Fuentes de contaminación difusa – multipuntual

Áreas residenciales urbanas sin servicios de cloacas (Usc)

La localidad de Pehuén-Có se emplaza sobre una superficie aproximada de 7,3 Km². Ante la falta de servicios públicos de distribución de agua y red cloacal en el 100% de las partidas, el abastecimiento de agua para todo consumo, así como el desecho de los efluentes líquidos negros y grises queda a cargo de los particulares. Esta situación implica que las captaciones de agua subterránea se encuentran

próximas a los pozos sépticos o "negros" que existen en todos los inmuebles para acumular los desechos líquidos.

El consumo de agua, así como el volumen de desechos líquidos se ve condicionado por la estacionalidad poblacional que presenta el balneario. Los datos de Aguas Bonaerense S.A (ABSA) para la provincia de Buenos Aires indican una dotación promedio de 300 L por habitante (ABSA, 2019). Por lo tanto el consumo de agua durante la temporada estival es aproximadamente 1400% mayor que el resto del año. Esto implica que la carga hidráulica que recibe el acuífero desde los pozos sépticos, en temporada alta, se verá significativamente incrementada respecto al resto del año.

Considerando los datos expuestos, la carga hidráulica al acuífero resulta de 0,03 mm/día para la temporada baja (USCTB) y 0,41 mm/día para la temporada estival (USCTA) (Figura 12.3.3).

Datos correspondientes a análisis fisicoquímicos y bacteriológicos actuales e históricos, exponen con frecuencia niveles de contaminación bacteriológica en los pozos de explotación tanto domésticos como públicos. Por sus condiciones de limitante para el consumo humano (C.A.A., 1969) y su movilidad en el subsuelo, en el presente trabajo se tomará como indicador de contaminación el ion nitrato (NO_3).

- Fuentes de contaminación puntual

Basural a cielo abierto (Bca)

La recolección de los residuos sólidos urbanos en la localidad está a cargo del municipio de Coronel Rosales, los mismos son acumulados en un basural a cielo abierto, constituyendo una fuente puntual, continua y de disposición directa sobre el terreno. Este se encuentra emplazado al noreste de la localidad, dentro del área urbana, sobre una superficie aproximada de 5 Has. Según información local, el mismo tendría una antigüedad de 40 años en el mismo sitio, migrando su cabecera de recepción en sentido noreste, debido a recurrentes quejas de los habitantes por la proximidad a sus propiedades. Los residuos son vertidos sin ningún tipo de clasificación ni tratamiento, directamente sobre las arenas del cordón costero medanoso, pudiéndose encontrar desechos orgánicos, plásticos, aceites, baterías, chatarra, restos de poda, inertes, entre otros. Debido a la elevada permeabilidad del sustrato, los lixiviados generados en el mismo se infiltran llegando al nivel freático.

La producción de estos está en relación directa con las precipitaciones, la pendiente del terreno, el tipo de cobertura y el grado de humedad y densidad aparente de los residuos. Estos dos últimos parámetros no están caracterizados, sin embargo es posible efectuar una cuantificación aproximada a partir de la precipitación (Henry y Heinke, 1996). De esta manera, considerando el área sin escurrimiento superficial por sus características psamíticas, la carga hidráulica se estima en 1mm/día (50% de la precipitación anual).

Debido a las variadas fuentes de contaminantes existentes en el basural, se propone como indicadores los nitratos (BCA1) y metales pesados (BCA2) (Figura 12.3.3).

Estaciones de servicio (Es)

Las estaciones de servicio son una de las fuentes antrópicas de mayor contaminación de las aguas subterráneas (Lexow *et al.*, 2016), sobre todo debido a que, si bien las regulaciones existentes (aplicadas por la Secretaría de Energía a partir de 1993) han mejorado, las fugas de combustible son situaciones que se dan con cierta frecuencia, más aún en pequeños centros urbanos donde el control y monitoreo es menor.

En la localidad existe únicamente una estación de servicio, ubicada en la entrada a la misma. De acuerdo con los datos brindados por residentes de la localidad, posee una antigüedad de 35 años, aunque fue remodelada y acondicionada hace 20.

La causa más probable de contaminación en estos casos es la rotura de los tanques de almacenamiento subterráneos o sus cañerías, provocando el vertido y transporte por disolución de hidrocarburos a la zona no saturada y posteriormente al acuífero. Por lo anteriormente expuesto, se considerará una carga hidráulica de 0,64 mm/día (equivalente a la recarga por agua de lluvia) y una posibilidad de ocurrencia de 0,057 año⁻¹ (USEPA, 1986), utilizando como indicador los hidrocarburos livianos (Figura 12.3.3).

Derrames accidentales (Da)

Dentro de esta categoría se puede considerar el transporte de sustancias peligrosas y altamente contaminantes, como pueden ser plaguicidas, combustibles, aceites, químicos, etc., teniendo en cuenta tanto rutas y caminos como terminales de carga y descarga. Estos eventos son de un gran impacto puntual pero escasa probabilidad de ocurrencia, con una afectación inmediata. Para el caso de estudio se

consideró el vuelco de un camión de transporte de plaguicidas retenidos en la zona no saturada, por lo que su transporte se daría por lixiviación en la recarga en tránsito (Figura 12.3.3).

De acuerdo a lo anterior, las valoraciones de las variables semi-independientes de cada indicador considerado, según el caso, son expuestas en la Figura 12.3.3.

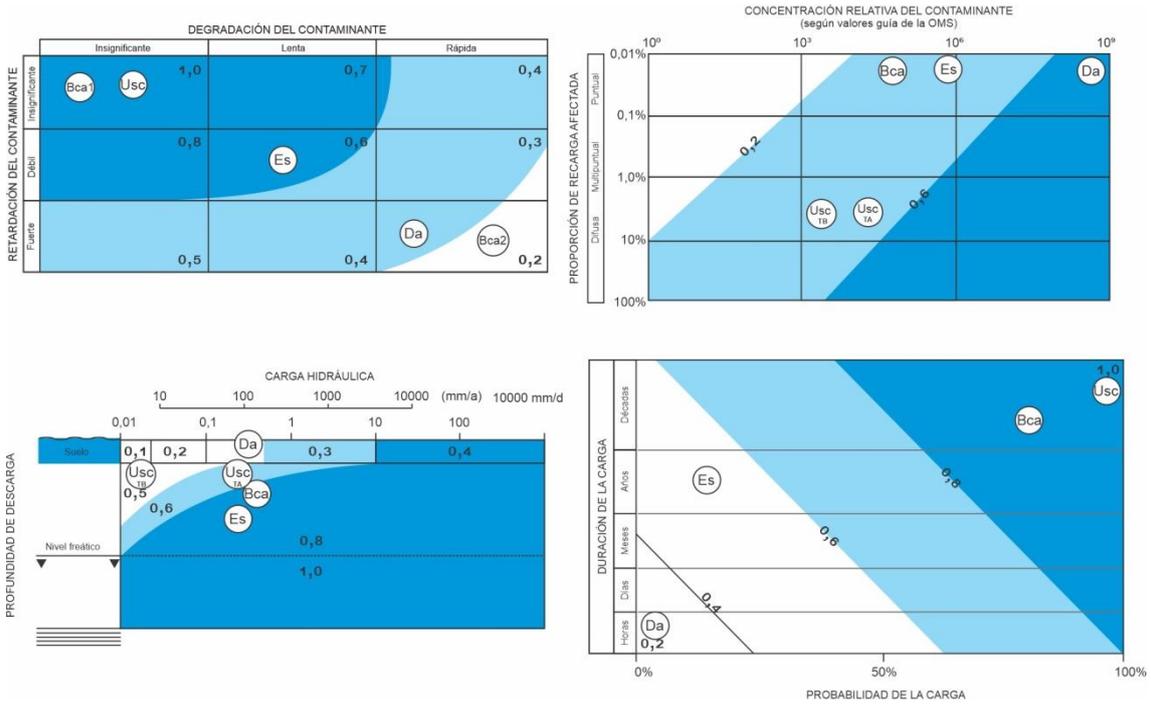


Figura 12.3.3: Caracterización de las cargas contaminantes inventariadas.

En la Tabla 12.3.1 se muestran los valores de ICC calculados mediante la sumatoria de cada característica semi-independiente multiplicada por un factor de 0,25. Los valores obtenidos se clasifican de moderados a elevados.

Tabla 12.3.1: Caracterización de las cargas contaminantes.

Tipo de Actividad		Contaminante considerado	Clasificación del contaminante				ICC	
			Clase	Intensidad	Modo	Duración	Valor	Clasificación
Bca	Bca1	NO ₃	1	0,3	0,8	0,9	0,75	Elevado
	Bca2	Metales pesados	0,2	0,3	0,8	0,9	0,52	Moderado
Usc	UscTA	NO ₃	1	0,5	0,6	1	0,78	Elevado
	UscTB	NO ₃	1	0,4	0,5	1	0,73	Elevado
Es		Hidrocarburos livianos	0,6	0,4	0,8	0,5	0,58	Moderado
Da		Plaguicidas	0,2	0,7	0,3	0,2	0,35	Moderado

A partir del análisis del inventario de actividades potencialmente contaminantes y su valoración según la metodología propuesta, se expone que todas las actividades consideradas poseen un ICC de moderado a elevado.

Las actividades que presentan una mayor problemática, en base a su clasificación, son el basural a cielo abierto y la falta de redes cloacales. Con respecto al primero, la ausencia de una barrera impermeable o geotextil, sumado a falta de control y separación de los residuos, representa un desafío que debería ser abordado cuanto antes. La utilización de pozos "negros" (en muchos casos sin cámaras sépticas) por la totalidad de los inmuebles, implica una fuente de contaminación multipuntual-difusa, que se incrementará con el aumento poblacional del área. Cabe destacar que, en este caso, tanto en temporada baja como alta, el ICC clasifica como elevado.

La única actividad que posee un monitoreo periódico es la estación de servicio, de acuerdo a la legislación vigente de la Secretaría de Energía. Esto expone la falta de control sobre el resto de las actividades inventariadas, lo cual implica un riesgo no solo ambiental, sino a la salud pública (OMS, 2019).

12.4 Peligro de contaminación

El peligro a la contaminación del acuífero se define como la interacción de la intensidad de la carga contaminante antrópica y la vulnerabilidad del acuífero (Foster e Hirata, 1988).

A partir de los resultados obtenidos de ICC y la vulnerabilidad calculada, el peligro a la contaminación del acuífero freático de la localidad de Pehuen-Có clasifica como "Alto" (Figura 12.4.1).

PELIGRO		VULNERABILIDAD				
		MUY BAJA	BAJA	MODERADA	ALTA	MUY ALTA
ICC	REDUCIDO	MB	MB	B	M	A
	MODERADO	MB	B	M	● Bca 2 ● Es ● Da	A
	ELEVADO	B	M	A	● Bca 1 ● Usc TA ● Usc TB ● A ●	E
● Bca 1 ● Bca 2 ● Usc TA ● Usc TB ● Es ● Da MB: Muy bajo B: Bajo M: Moderado A: Alto						

Figura 12.4.1: Interacción entre la vulnerabilidad intrínseca del acuífero y la clasificación de la carga contaminante de las distintas actividades inventariadas para el sector de Pehuen-Có.

Dadas las características geológicas e hidrogeológicas del área y de acuerdo al análisis efectuado, queda en evidencia la falta de medidas de protección del único recurso de agua disponible para consumo humano en la localidad. Dicha situación atenta contra el acceso y disponibilidad al agua potable y al saneamiento por parte de la población, el cual es considerado un derecho humano básico (COHIFE, 2003; ONU, 2010).

12.5 Referencias bibliográficas

ABSA, (2019). Cuidemos el agua, ABSA cambia con vos. Folleto Online En: https://www.aguasbonaerenses.com.ar/recursos/articulos_archivos/528_1923.pdf.
Último ingreso 18/02/2020.

Aller L, Bennett T, Lehr J, Petty R, Hackett G (1987) DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings: U.S. environmental protection agency report 600/2- 87/035, p 622.

CÓDIGO ALIMENTARIO ARGENTINO, (1969). Ley 18.284, Capítulo XII: "Bebidas hídricas, agua y agua gasificada", artículo 982 (actualizado en 2019). 60 pp. Ministerio de Salud y Acción Social, Argentina. Disponible en:

https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/caa_capitulo_xii_aguas_actualiz_2019-11.pdf.

COHIFE (CONSEJO HÍDRICO FEDERAL), (2003). Principios rectores de política hídrica de la Argentina. Fundamentos del Acuerdo Federal del Agua. 20 pp.

Foster, S., (1987). Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy. Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollution, Proceedings and Information No. 38 of the International Conference held in the Netherlands, TNO Committee on Hydrological Research, Delft, The Netherlands.

Foster, S. & Hirata, R. (1988). Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data. WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical manual, Lima, Peru. 81pp

Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'elia, M. y Paris, M., (2002). Groundwater quality protection: a guide for water service companies, municipal authorities and environment agencies. World Bank, WMATE. Washington, 101 pp.

Henry, J.G. y Heinke, G.W. (1996). Ingeniería Ambiental. Segunda Edición. Prentice Hall. México. 778 pp.

Lexow, C., Di Martino, C., Lafont, D., Albouy, R., Marcos, A. (2016). Identificación y cuantificación de la carga contaminante al acuífero freático en la localidad de Monte Hermoso. Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. N° 37: 37-44. Buenos Aires.

O.M.S (ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD), 2019. Seguridad del paciente Agua, saneamiento e higiene en los centros sanitarios. Informe del Director General. 72.^a Asamblea Mundial de la Salud. Disponible en: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/328713/A72_27-sp.pdf.

O.N.U. (ASAMBLEA GENERAL DE NACIONES UNIDAS), 2010. Resolución A/RES/64/292. El derecho humano al agua y saneamiento. Aprobada el 28 julio 2010. Disponible en: https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/64/292&Lang=S.

USEPA (United States Environmental Protection Agency), (1986). Hazardous waste tank failure model: Description of methodology. EPA 530-SW- 86-012.

USEPA (United States Environmental Protection Agency), (1991). Guide for conducting contaminant inventories for public drinking water supplies: technical assistance document. Environmental Protection Agency, Office of Water. Washington D.C.

Vrba, J. and Zaporozec, A. (1994) Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability—IAH International Contributions to Hydrogeology, 16. FRG, Heise Publication, Hannover, 131 p.

Capítulo 13

MODELOS CONCEPTUALES Y BALANCE HÍDRICO

13.1 Introducción

El modelo de funcionamiento de todo el sistema de estudio (Figura 13.1.1) se plantea en primera instancia para la cuenca arreica que compone el cordón costero medanoso y luego para el acuífero freático alojado en él.

El balance hídrico se basa en el principio de conservación de masas, el cual postula que las entradas de agua al sistema, menos las salidas, debe ser igual a la variación del agua almacenada (ΔS), pudiendo este último término tomar valores positivos o negativos.

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = \pm \Delta S$$

Para periodos extensos de tiempo es posible plantear la ecuación simplificada, donde se asume que la variación del almacenamiento toma valores muy pequeños al ser contrastada con los demás términos que componen el cálculo. Si se asume que $\pm \Delta S$ tiende a 0, este término puede despreciarse y la ecuación queda expresada de la siguiente manera:

$$\text{Entradas} = \text{Salidas}$$

Para ajustar de la mejor manera el modelo teórico de funcionamiento se tomaron en cuenta los valores promedio calculados en esta tesis -para las distintas variables que componen el sistema- utilizando las series de datos de mayor extensión temporal.

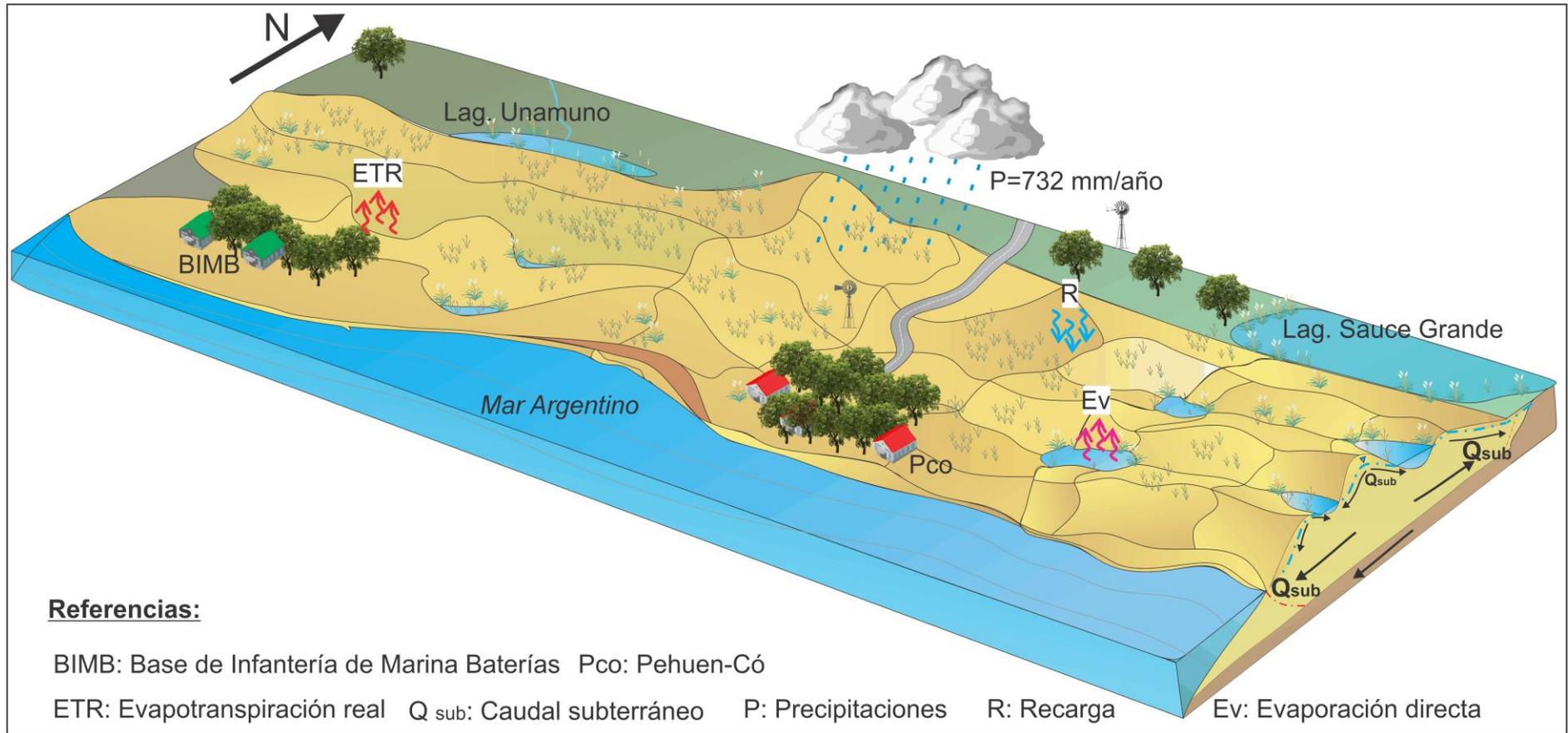


Figura 13.1.1: Bloque diagrama del sistema analizado, junto con los ingresos y egresos de agua considerados.

13.2 Modelo de funcionamiento y balance hídrico

El cordón costero medanoso se asume como una cuenca en sí mismo. La particularidad de estar formado por cuerpos psamíticos, de gran porosidad y permeabilidad, impide el escurrimiento superficial hacia el exterior de su contorno configurando así una cuenca cerrada o arreica.

Superficialmente se considera a las precipitaciones (P) como un ingreso de agua al sistema y se asumen nulas las salidas por escurrimientos superficiales. La evapotranspiración real (ETR) resulta un egreso, dimensionado a partir de fórmulas empíricas y el balance de agua en el suelo a paso diario (*cf.* Capítulo 4; Capítulo 10).

En lo que respecta a su funcionamiento subterráneo, los mapas de isopiezas indican -para el sector límite con la llanura pampeana, entre Punta Alta y Pehuen-Có- que el flujo subterráneo posee dirección norte-sur. La diferencia de salinidad y por ende de densidad) entre el agua subterránea existente en la cadena de médanos con respecto a la alojada en los sedimentos pampeanos y pospampeanos de la llanura, generaría una cuña salobre en el límite entre las geoformas.

Se postula que la diferencia de densidades tiende a dividir los sistemas de flujo, encontrándose el agua dulce, alojada en la cadena de médanos, como una lente que sobreyace al agua salobre proveniente de la llanura. De esta manera y a los efectos de realizar el balance hídrico de la cuenca, se asume que el caudal de agua que ingresa desde la llanura es igual al caudal que egresa en el sector costero, para dicho sistema de flujo.

Continuando el análisis del límite norte de la cadena de médanos, el sector correspondiente a la laguna Sauce Grande, se configura como una zona de descarga del acuífero freático (Q_{sub}); igual situación se plantea en el límite sur definido por la línea de costa marina.

A su vez, la presencia de humedales de interduna implica una evaporación directa (Ev) de los cuerpos de agua. La superficie ocupada por estos humedales se cuantificó a partir del análisis de imágenes satelitales. Debido a que el área cubierta por agua resulta muy variable en el tiempo y depende de las estaciones húmedas y secas, se optó por analizar imágenes correspondientes al año 2017, cuya precipitación anual coincide con el módulo pluviométrico medio de la cuenca. Atendiendo a lo anterior se asume un área disponible para evaporación directa de aproximadamente 8 Km² (2% del total analizado).

De esta manera el único ingreso al sistema es la precipitación (P), mientras que los términos de salida son la evapotranspiración real (ETR), la evaporación directa (Ev) de los cuerpos de agua y la descarga de agua subterránea (Q_{sub}). La ecuación de balance del sistema, para un periodo extenso de tiempo queda entonces expresada de la siguiente manera:

$$P = ETR + Ev + Q_{sub}$$

Un balance de agua a nivel de cuenca, puede formularse tomando los datos medios de las variables hidrológicas del área. Considerando una precipitación de 732 mm/año (1982-2017), una ETR equivalente al 66% de las precipitaciones (483 mm/año) y la evaporación física según tanque "tipo A" ($Ev=1120$ mm/año, *crf.* Capítulo 4) y aplicando la Ev a solo el 2% del área analizada, resulta:

$$P = ETR*0,98 + Ev*0,02 + Q_{sub}$$

$$732 \text{ mm/año} = 483 \text{ mm/año} * 0,98 + 1120 \text{ mm/año} * 0,02 + Q_{sub}$$

$$Q_{sub} = 236 \text{ mm/año}$$

De esta manera el caudal de descarga subterráneo toma un valor de 236 mm/año, equivalentes a 94,4 Hm³/año.

En lo que respecta al acuífero freático alojado en los médanos, el único ingreso resulta de la recarga (R) procedente de los excesos hídricos de las precipitaciones, mientras que los egresos están representados por el caudal subterráneo anteriormente calculado, el cual incluye las descargas del flujo local (Q_{sub}) y -dadas las características hidrodinámicas del sistema- la evaporación directa (EV) de los cuerpos de agua de interduna u ojos de agua, relacionados con el afloramiento de nivel freático en los bajos topográficos (Figura 13.2.1).

En consecuencia, el balance hídrico para el acuífero freático queda planteado de la siguiente manera:

$$R = Q_{sub} + EV$$

Teniendo en cuenta los datos anteriormente expuestos resulta:

$$R = 236 \text{ mm/año} + 22,4 \text{ mm/año}$$

$$R = 258,4 \text{ mm/año}$$

El valor de recarga obtenido representa el 35% de las precipitaciones y es consistente con los valores medios calculados a partir del balance de agua en el suelo (34% a 37%) y el método hidroquímico del ion cloruro (27%) (cf. Capítulo 10), lo que reafirma los modelos de funcionamiento planteados para la cuenca y el acuífero.

Capítulo 14

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

14.1 Conclusiones

Las características climáticas, geológicas y geomorfológicas del sector costero del sudoeste bonaerense condicionan la presencia y calidad del agua subterránea. En el área de estudio, dos sistemas acuíferos sobreimpuestos, someros y conectados hidráulicamente entre sí fueron identificados.

El primero y más profundo, compuesto por los sedimentos pampeanos y postpampeanos finos, responde a un sistema de flujo de carácter regional, con aguas generalmente salobres. El segundo, correspondiente al acuífero alojado en la cadena de médanos, presenta sistemas hidrodinámicos de flujo de carácter local y aguas comúnmente dulces.

Las principales geoformas del área las componen la llanura pampeana y el cordón costero medanoso. La primera de ellas presenta materiales finos loésicos, suelos desarrollados ricos en materia orgánica, baja pendiente y redes hidrográficas definidas. El cordón costero medanoso, objeto de estudio de esta tesis, está compuesto por depósitos psamíticos de distinta granulometría, no posee importante desarrollo de suelos y dadas las características litológicas, se comporta como un área arreica sin redes de drenaje permanentes. Estos depósitos se encuentran cubriendo antiguos sectores de llanura.

La columna estratigráfica expone una relación directa con las variaciones del nivel del mar ocurridas durante el período Neógeno.

Como base hidrolitológica del sistema analizado se encuentran los Sedimentos Pampeanos (localmente correlacionables con la Fm. Monte Hermoso), de gran extensión en toda la provincia de Buenos Aires y dominantes en la llanura pampeana.

Sobre estos existen variados niveles psamíticos, denominados para el sector, como Formación Puerto Belgrano, Formación Punta Tejada, intercalaciones finas

relacionadas a paleo-redes de drenaje (Secuencia la Delta entre otras) y arenas tanto de origen marino como continental.

Las variaciones eustáticas condicionaron una configuración de paleocauces sobre los sedimentos pampeanos, los cuales se encuentran rellenos y cubiertos por depósitos de playa, fluviales y eólicos. En sectores próximos a la línea de costa se reconocen niveles de arenas conchíferas, sobreyacidos por paquetes arenosos modernos de origen eólico. Estos últimos son correlacionables con lo que algunos autores denominan Formación Punta Médanos. El conjunto de depósitos que cubren los sedimentos pampeanos contiene el acuífero de estudio.

La geometría del acuífero psamítico es compleja. Tanto al norte como al sur, el conjunto arenoso se acuña perdiendo espesor. Hacia el oeste en dirección a la ciudad de Punta Alta ocurre lo mismo, mientras que hacia el este la cadena de médanos continúa sin limitaciones.

A partir de los datos geofísicos se evidencia que el hidroapoyo del sistema no es plano, sino que posee leves ondulaciones o áreas erosionadas en dirección oeste-este y una leve pendiente norte sur.

Desde el límite oeste (Punta Alta) hacia el sector de la base Baterías (Punta Tejada), el hidroapoyo, caracterizado por bajas resistividades, se profundiza presentando suaves ondulaciones, encontrándose su techo a profundidades mayores a los 35 m debajo del nivel topográfico. Continuando hacia el este se eleva, aflorando en el sector de Farola Monte Hermoso (Sector centro del área de estudio). Desde la localidad de Pehuen-Có, hacia Monte Hermoso el sustrato conductivo vuelve a profundizarse, ubicándose a más de 20 m debajo del nivel topográfico sobre el límite este.

Se postula que el sector de Farola Monte Hermoso, donde actualmente se encuentra una línea de costa acantilada (en la que se puede apreciar la columna estratigráfica casi completa) configura el relicto de un tómbolo que no fue afectado por las distintas ingresiones marinas. Esto se sustenta en que, tanto hacia el este como hacia el oeste de este sector, los sedimentos pampeanos se profundizan y son cubiertos por depósitos psamíticos ricos en conchillas, no existentes en el área de la Farola.

Las arenas son en general finas a medias, bien seleccionadas, compuestas principalmente por cuarzo y plagioclasas. En sectores al norte de Pehuen-Có se

reconocieron niveles de arenas limosas, mientras que en proximidades de Punta Alta se presentan con mayor contenido de arcillas y carbonatos pulverulentos.

El coeficiente de almacenamiento (**S**) del acuífero libre, obtenido mediante el ensayo de bombeo, resulta de 0,21, lo cual es coincidente con el valor medio de porosidad eficaz para arenas finas según la bibliografía hidrogeológica en general. Si bien es posible que este valor disminuya levemente en los sectores con mayor matriz arcillo limosa, también es probable que aumente en los sectores donde existen paleocauces ricos en materiales gruesos. Por lo tanto el valor obtenido se considera una buena aproximación general.

La transmisividad (**T**) del acuífero se calculó en 217 m²/día mientras que la conductividad hidráulica (**K**) se cuantificó en 21 m/día.

La superficie piezométrica tiende a copiar, de manera suave, las formas del relieve topográfico. En el sector entre Punta Alta y Pehuen-Có el flujo subterráneo posee dirección norte-sur, comportándose de manera parabólica cilíndrica y descargando en el frente marítimo.

En el sector comprendido entre Pehuen-Có y Monte Hermoso, el flujo presenta dos direcciones opuestas. Se observa una divisoria de aguas de rumbo oeste-este en la zona central del cordón costero medanoso. A partir de esta el flujo tiene direcciones opuestas, hacia el norte descargando en la llanura pampeana -Laguna Sauce Grande- y hacia el sur, descargando en el frente litoral marino.

La profundidad al nivel freático no suele superar los 6 m, pudiendo rondar los 15 m en la cima de los médanos de mayor altura. El nivel freático somero es evidenciado por un aumento en la vegetación hidrófila en los bajos interdunales, donde durante la estación húmeda es habitual encontrar lagunas freáticas. Estos cuerpos de agua, íntimamente relacionados con la hidrodinámica del acuífero, configuran una serie de humedales que proporcionan variados servicios ecosistémicos y resultan de gran importancia para la biota del sector.

Las variaciones del nivel freático presentan una marcada estacionalidad, habiéndose registrado, durante el período del estudio, una oscilación máxima de 46 cm. Los valores más bajos se presentan en los meses de verano, afectados principalmente por el consumo antrópico estival y la elevada evapotranspiración. A su vez, se observa una respuesta positiva a inicios del otoño, coincidente con la estación lluviosa. Ese comportamiento es mantenido, en menor medida, durante el invierno. Si

bien esta estación no es considerada un periodo de grandes precipitaciones, los requerimientos hídricos son menores tanto antrópica como naturalmente. A fines del invierno y principios de primavera (período lluvioso), los niveles ascienden, para luego descender de manera continua hasta la próxima estación húmeda.

Hidroquímicamente, en general, el agua del acuífero psamítico presenta baja salinidad, considerándose apta para todo uso. La conductividad eléctrica promedio ronda los 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, siendo el valor mínimo medido de 270 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que el máximo alcanzó 3850 $\mu\text{S}/\text{cm}$, relacionado a un área de descarga local con abundantes lagunas freáticas.

El patrón químico dominante corresponde a aguas bicarbonatadas sódicas y bicarbonatadas cálcicas/magnésicas. En menor medida y de manera puntal se encuentran aguas cloruradas sódicas. Estas últimas poseen mayor mineralización y se relacionan con zonas de descarga y afloramientos semipermanentes del nivel freático.

No se observa una marcada evolución química del agua subterránea en las zonas de tránsito. Esto puede explicarse analizando dos aspectos principales: el primero corresponde a la hidrodinámica del acuífero, caracterizada por flujos locales de corto recorrido, lo que implica un bajo tiempo de residencia o contacto agua-sedimento. El segundo aspecto se centra en la litología. El cuarzo, componente de importancia en el acuífero, es resistente y poco reactivo. De esta manera las plagioclasas y la escasa matriz limo-arcillosa componen la fase sólida donde se verificarían las reacciones que modifican la composición hidroquímica.

Las zonas de descarga presentan agua de mayor tenor salino. Atendiendo a lo anterior, este aumento de la mineralización se relaciona con la presencia de lagunas freáticas que sufren ciclos de evaporación – disolución, aumentando la salinidad del agua subterránea del sector.

Los tenores de flúor y arsénico se encuentran por debajo de los límites máximos estipulados por el Código Alimentario Argentino. En contraposición a los valores medidos en las muestras del acuífero psamítico, el agua alojada en los sedimentos pampeanos y postpampeanos finos, presentan altos tenores de estos oligoelementos y de esta manera el F^- y As actúan como geoindicadores. La presencia de valores "anómalos" en captaciones de agua dentro del cordón costero, permite inferir que éstas han atravesado las arenas y parte de los sedimentos pampeanos que actúan de hidroapoyo.

En lo que respecta a los volúmenes de agua alojados en el acuífero freático, se procedió al cálculo de las reservas hídricas subterráneas (RHS) basándose en los resultados de espesor saturado obtenidos a partir de los datos geofísicos. De esta manera se obtuvo un valor de RHS de **2.500 Hm³**.

El ingreso de agua al acuífero depende de los excesos hídricos provenientes de las precipitaciones. Estos fueron calculados por distintas metodologías, independientes entre sí. Los valores medios de recarga obtenidos, variaron entre el 27% y 37% de la precipitación media anual (732mm/año), por lo cual se asume como valor de referencia el promedio entre ambos (**32%**). De esta manera, el recurso hídrico potencial para el sector estudiado es de **93,60 Hm³ / año**, configurando el 3,6% de las reservas hídricas subterráneas.

La demanda antrópica de agua, calculada para el balneario Pehuen-Có y la Base Baterías es de **0,38 Hm³/año**. Este consumo representa el 0,4 % del recurso hídrico subterráneo y el 0,02 % de las reservas hídricas subterráneas para la totalidad del sector analizado.

Si se tiene en cuenta solo el área urbana de Pehuen-Có, donde las reservas hídricas subterráneas se calcularon en 38 Hm³ y el recurso hídrico subterráneo es de aproximadamente 1,40 Hm³/año, el consumo total de agua representa el 1% y el 27% respectivamente. Estos datos ponen en evidencia que la utilización del recurso, realizado por los poblados del sector, no representa un problemática en la actualidad y se realiza de manera sustentable en lo que a volumen extraído se refiere.

Dadas las características geológicas, geomorfológicas e hidráulicas que posee el acuífero y la zona no saturada, la vulnerabilidad a ser afectado por agentes contaminantes clasifica, para la mayor parte del área analizada, como **alta**.

Las actividades potencialmente contaminantes detectadas se concentran en el área urbana de Pehuen-Có. La principal problemática se relaciona con la falta de cloacas en toda el área urbana y la presencia de un basural a cielo abierto sin geotextiles en su base. Esta situación se agudiza debido a que el 100% de las propiedades poseen captaciones de agua particulares, al no contar con un suministro público operativo.

El índice de carga contaminante (ICC) calculado para estas actividades califica como **elevado**. A partir de los resultados obtenidos de ICC y la vulnerabilidad, el

peligro de contaminación del acuífero freático de la localidad de Pehuen-Có clasifica como **alto**.

A partir de las conclusiones expuestas queda en evidencia que el acuífero freático del cordón costero medanoso posee importantes reservas de agua dulce en una zona de clima árido a semiárido y con recurrentes problemáticas hídricas. Por tanto constituye un recurso estratégico para el desarrollo social y económico del área. A su vez, se advierte, sobre la gestión del agua y la falta de protección del recurso hídrico subterráneo en los sectores urbanos.

14.2 Recomendaciones

El manejo integral del recurso hídrico en sectores que poseen un equilibrio natural sensible a la actividad antrópica resulta de vital importancia.

Si bien el sector analizado se encuentra poco afectado por actividades antrópicas, el previsible aumento de la población y el turismo indudablemente repercutirá en un mayor consumo de agua dulce y en un aumento de efluentes potencialmente contaminantes. Es por ello que la expansión urbanística requiere un ordenamiento territorial con miras al futuro, previendo áreas protegidas que garanticen la conservación del recurso hídrico subterráneo.

En el caso puntual del balneario Pehuen-Có se recomienda lo siguiente:

- Considerar de carácter urgente la necesidad de contar con redes cloacales y plantas de tratamiento de efluentes en los sectores urbanos.
- Realizar un replanteo de los sitios destinados a la acumulación de residuos sólidos urbanos, promoviendo una preclasificación de los mismos y la completa aislación entre estos y el acuífero mediante la construcción de un relleno sanitario.
- Las captaciones de explotación proyectadas y las ya existentes, construidas para realizar una futura distribución pública del recurso hídrico, deben prever un perímetro de protección y un correcto distanciamiento entre ellas. Con el objetivo de limitar las actividades potencialmente contaminantes en su entorno y evitar de la interferencia de sus conos de depresión.
- Si bien los estudios sobre el avance de la interfaz agua dulce-agua salada hacia el continente son escasos y los datos geofísicos realizados en esta tesis no reflejan esa problemática, se recomienda la construcción de piezómetros o

pozos de monitoreo sobre el frente costero del área urbana, que permitan un control periódico del sistema.

ANEXOS

ANEXO I

Planillas de Muestreo

Nombre	Muestra	Latitud Sur	Longitud Oeste	Prof al nivel freático	Nivel Piezométrico
Galería Luiggi 1	GL 1	38° 51' 51,3"	62° 05' 48"	2,83 m	8,17 m
Galería Luiggi 2	GL 2	38° 51' 54,5"	61° 05' 45"	2,71 m	9,29 m
Galería Luiggi 3	GL 3	38° 51' 51,3"	62° 05' 41,5"	3,17 m	7,83 m
Molino 1 ESI	ESI 1	38° 55' 51,0"	61° 43' 24,6"	12,33 m	17,67 m
Molino 2 ESI	ESI2	38° 55' 49,6"	61° 43' 36,8"	16,29 m	19,71 m
Molino 3 ESI	ESI3	38° 57' 05,0"	61° 40' 18,3"	11,05 m	16,65 m
Molino 4 ESI	ESI4	38° 57' 59,0"	61° 39' 22,4"	7,45 m	16,55 m
Molino 5 ESI	ESI5	38° 56' 49,7"	61° 41' 32,9"	13,40 m	13,9 m
Molino 6 ESI	ESI6	38° 57' 36,4"	61° 45' 47,0"	1,50 m	4,50 m
Molino 7 ESI	ESI7	38° 56' 19,1"	61° 47' 29,9"	6,65 m	8,32 m
Molino ESI 8	ESI 8	38° 57' 36,1"	61° 38' 17,6"	5,90 m	18 m
Molino ESI 9	ESI 9	38° 56' 42,5"	61° 38' 56,7"	4,05 m	15,35 m
Molino ESI 10	-	38° 56' 42,5"	61° 38' 56,7"	cilindro a 12 m	20 m
Molino 1 Pehuen co Ruta (Gonzalez Martinez, Molino El Monte)	PCO 1	38° 57' 51,8"	61° 32' 31,7"	no se pudo medir, caño ingresa al suelo sin espacio.	
Vivero Pehuen co 1	-	38° 59' 44,7"	61° 35' 36,5"	3,75 m	16,25 m
Vivero Pehuen co 2	PCO 2	38° 59' 46,42"	61° 35' 35,2"	4 m	15 m
Vivero Pehuen co 3	-	38° 59' 37,1"	61° 35' 40,3"	10,05 m	13,95 m
Vivero Pehuen co 4	-	38° 59' 36,6"	61° 35' 40,3"	3,48 m	14,52 m
Molino 2 Pehuen co (Gonzales Martinez, Molino EL Tambo)	PCO 3	38° 59' 15,82"	61° 32' 07,67"	3,90 m	8,6 m
Molino 3 Pehuen co	PCO 4	38° 58' 52,92"	61° 33' 36,01"	No se pudo medir, cilindro en sup.	
Perforación Casco, Est. Gonzales Martinez.	GM 1	38° 56' 28,5"	61° 31' 34,1"	2 m	17 m
Molinos Mellizos, Est. Gonzales Martinez	GM 2	38° 56' 56,6"	61° 31' 23"	15,58 m	16,42 m
Molino Doña Manuela, Est. GM.	GM 3	38° 57' 34,9"	61° 31' 59,2"	2,37 m	14,63 m
Molino Puesto Don Prudencio. Est GM	-	38° 58' 23,9"	61° 32' 30,9"	3,84 m	15,16

Molino Valle Grande. Est GM	GM 4	38° 58' 29,5"	61° 31' 15,5"	2,61 m	12,49
Molino Dos Valles. Est GM.	GM 5	38° 58' 44,8"	61° 29' 53,1"	2 m	12 m
Molino Pichi Huinca. Est GM	GM 6	38° 59' 12,9"	61° 29' 53"	1,10 m	10,9 m
Molino Catriel. Est GM				No se Pudo Medir, el caño entra en la tierra derecho	
Molino Venancio. Est Gm	GM7	38° 58' 22,9"	61° 27' 40,8"	2,10 m	15,90 m
Molino Tamarisco. Est GM	GM 8	38° 57' 27,7"	61° 27' 40,8"	4,66 m	10,34
Molino Valle Chico. Est. GM	GM 9	38° 57' 56,6"	61° 29' 08"	3,45 m	11,55 m
Molino ER1	ER 1	38° 56' 33"	61° 35' 27,4"	4,40 m	22,6 m
Molino ER2	ER 2	38° 57' 08,4"	61° 35' 25,9"	no se pudo bajar a más de 3,5 m por el cilindro	20,4 minimo
Molino ER3	ER 3	38° 56' 39,4"	61° 33' 48,7"	7,70 m	22,3 m
Molino ER4	ER 4	38° 57' 14,2"	61° 33' 48,7"	7,20 m	22,8 m
Pozo Casa Principal MV1	MV1	38° 57' 55,7"	61° 21' 42"	2,60 m	12,4 m
Pozo Casa Laguna MV2	MV2	38° 57' 05,3"	61° 22' 00,2"	Boca de pozo tapada, no se pudo medir el nivel.	-
Molino MV3	-	38° 57' 24,1"	61° 22' 47,2"	2,68 m	7,32 m
Molino MV4	MV3	38° 57' 45,2"	61° 23' 05,3"	2,20 m	12,8 m
Molino MV5	-	38° 57' 38"	61° 23' 47,8"	2,15 m	7,85 m
Molino MV6	MV4	38° 57' 52,3"	61° 26' 04,8"	2 m	8,9 m
Molino MV7	MV5	38° 56' 39,6"	61° 26' 21,7"	4,13 m	9,87 m
Molino MV8	-	38° 56' 39"	61° 25' 34,2"	3,95 m	9,05 m
Molino Pco5 Llanura	-	38° 56' 06,6"	61° 33' 04,4"	1,37 m	20,63
Punta Alta 1	PA 1	38° 53' 20,1"	62° 01' 11,6"	2,38 m	6,4
Punta Alta 2	-	38° 53' 30,4"	62° 00' 43,6"	2,5	4,96
Punta Alta 3	PA 2	38° 53' 29,2"	62° 00' 45,9"	2,08	5,23
Punta Alta 4	-	38° 54' 13,3	61° 58' 33,5"	1,9	4,7
Punta Alta 5	PA 3	38° 52' 22"	61° 58' 37,5"	4,00 m	16,76
Punta Alta 6	-	38° 53' 38,2"	61° 59' 41,4"	10 m	2,63
Punta Alta 7	PA 4	38° 53' 31,8"	61° 59' 09,1"	3,8	10,03

ANEXO II

HIDROQUÍMICA

Ruffo A. G. "Hidrogeología de las dunas en el ambiente costero suroccidental de la provincia de Buenos Aires, Argentina."

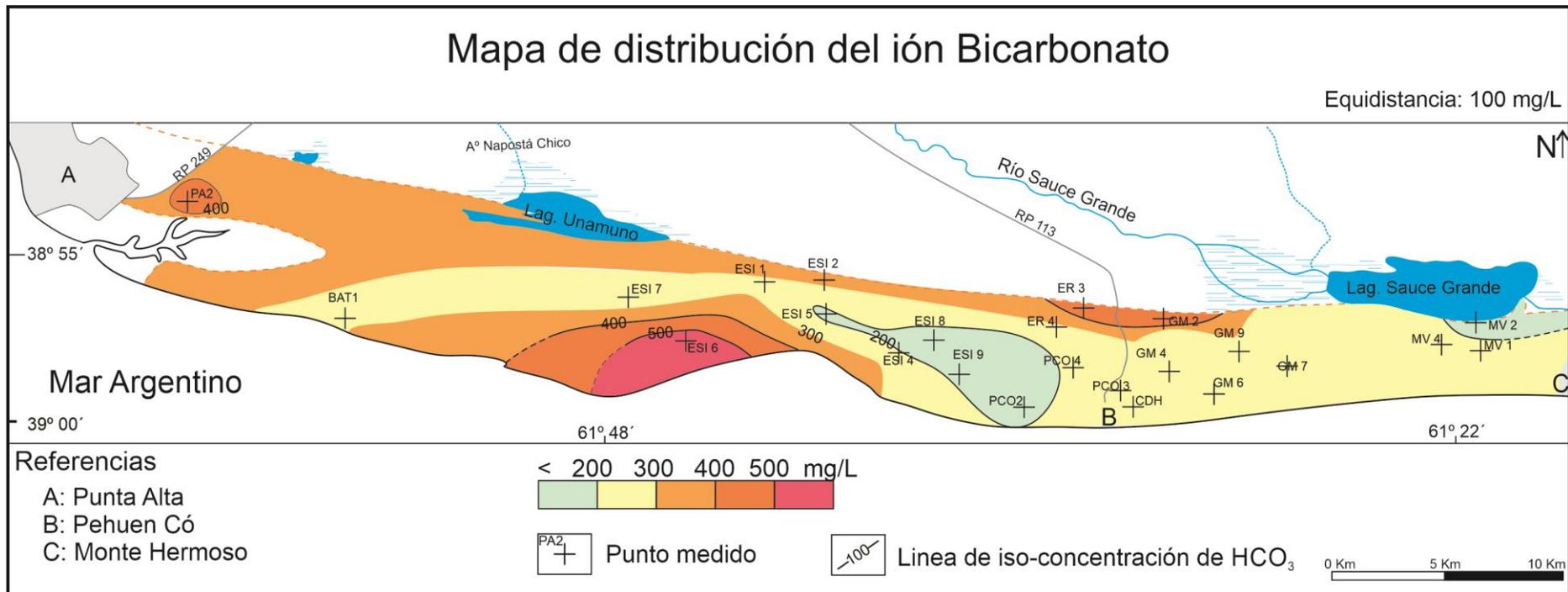


Figura Anexo 2.1: Mapas de distribución del ión Bicarbonato.

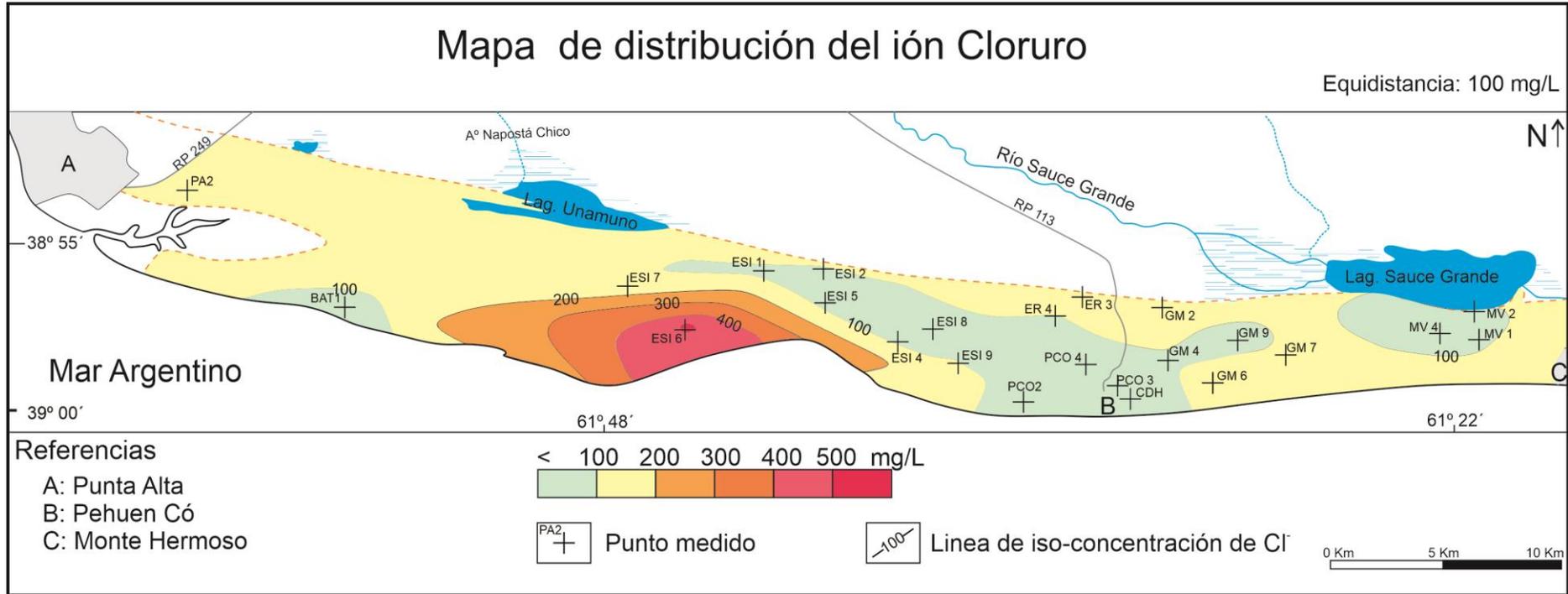


Figura Anexo 2.2: Mapas de distribuci6n del i6n Cloruro.

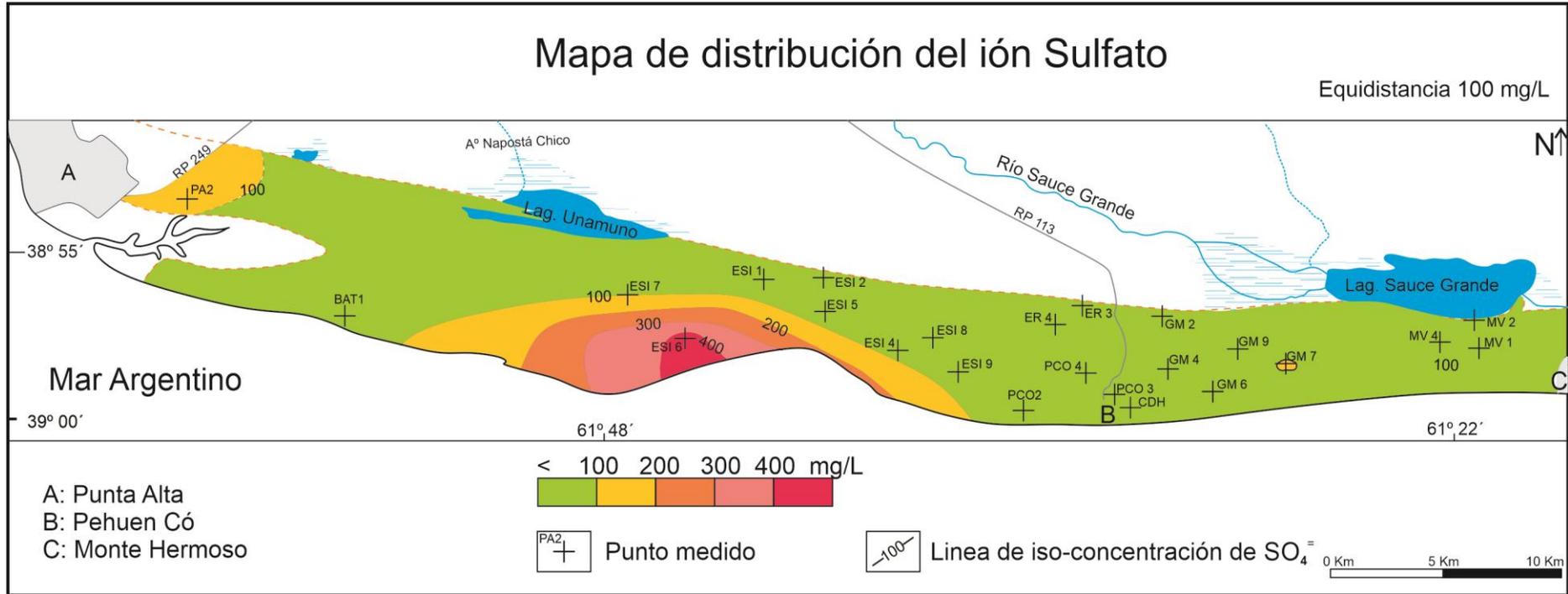


Figura Anexo 2.3: Mapas de distribución del ión Sulfato

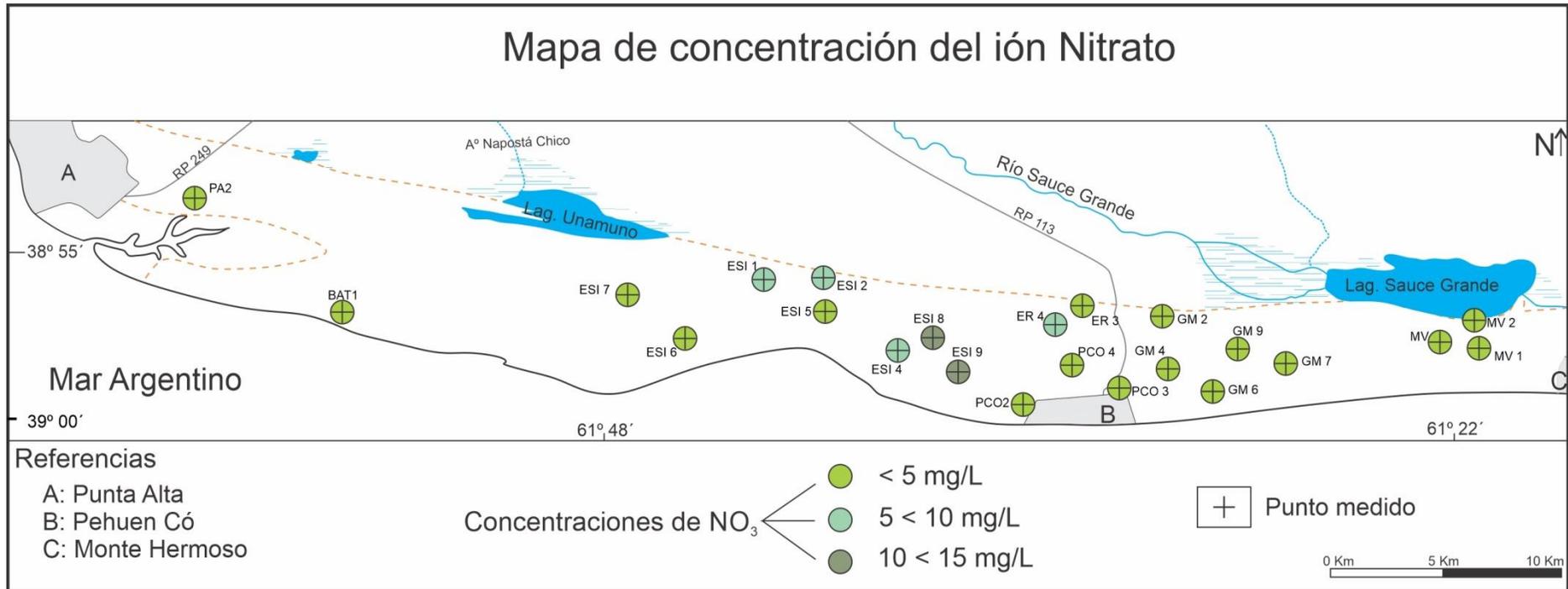


Figura Anexo 2.4: Mapas de distribución del ión Nitrato

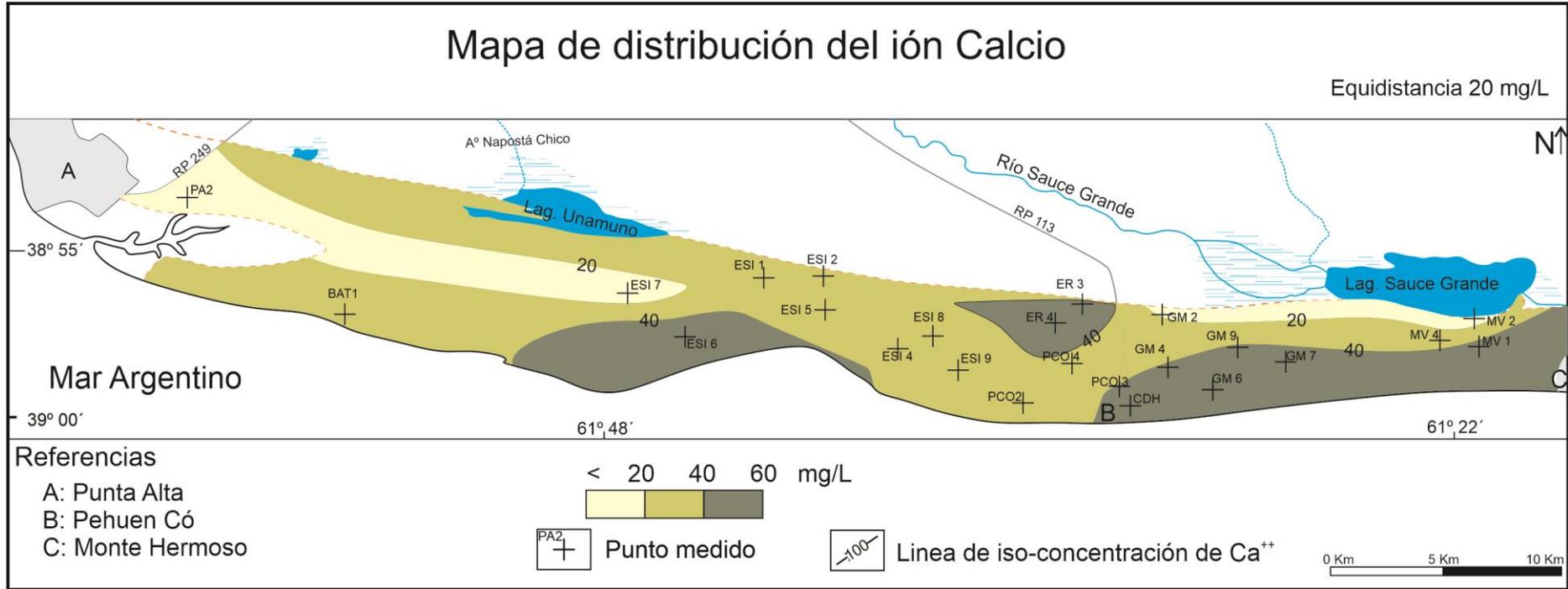


Figura Anexo 2.5: Mapas de distribución del ión Calcio

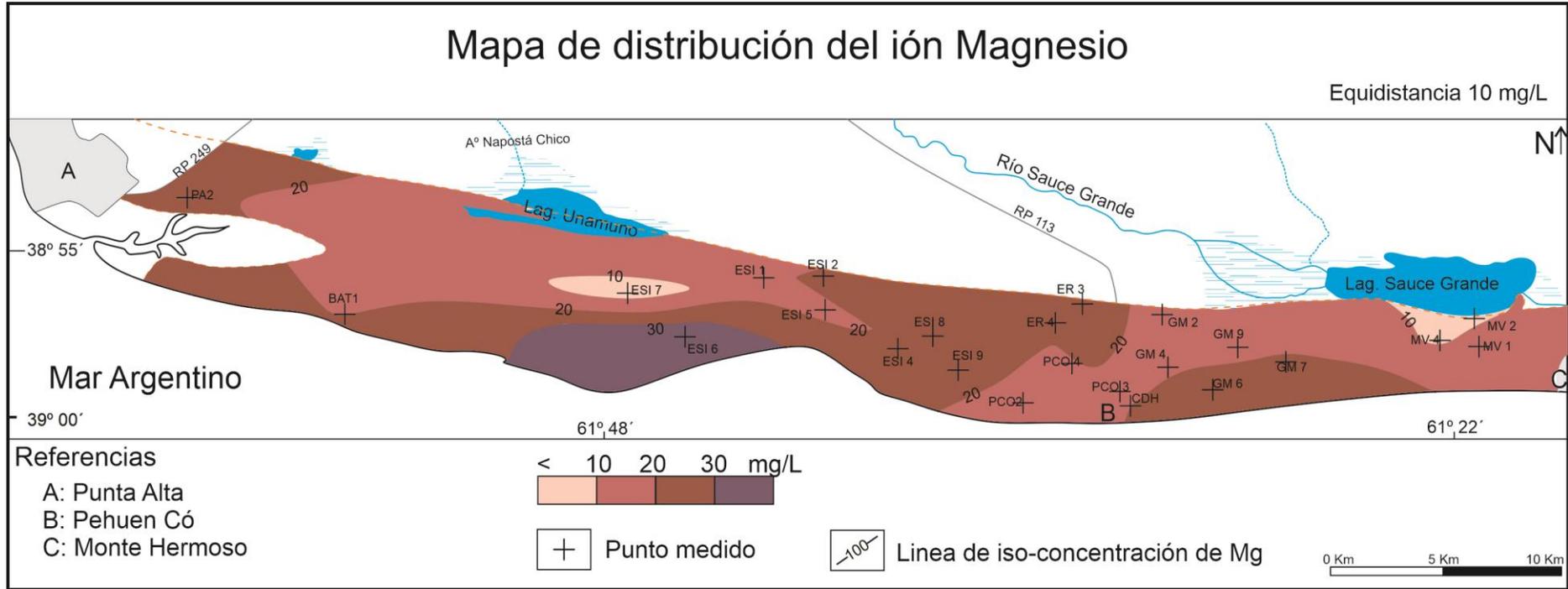


Figura Anexo 2.6: Mapas de distribución del ión Magnesio

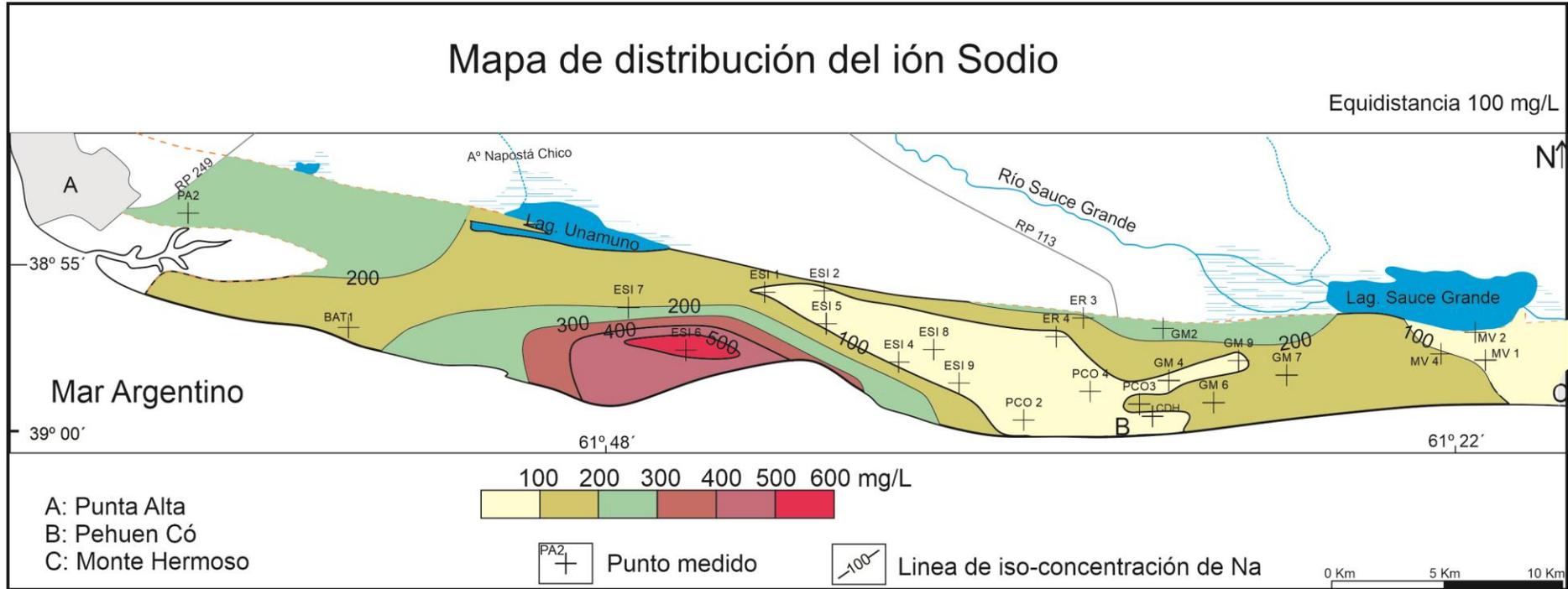


Figura Anexo 2.7: Mapas de distribución del ión Sodio.

Stabler

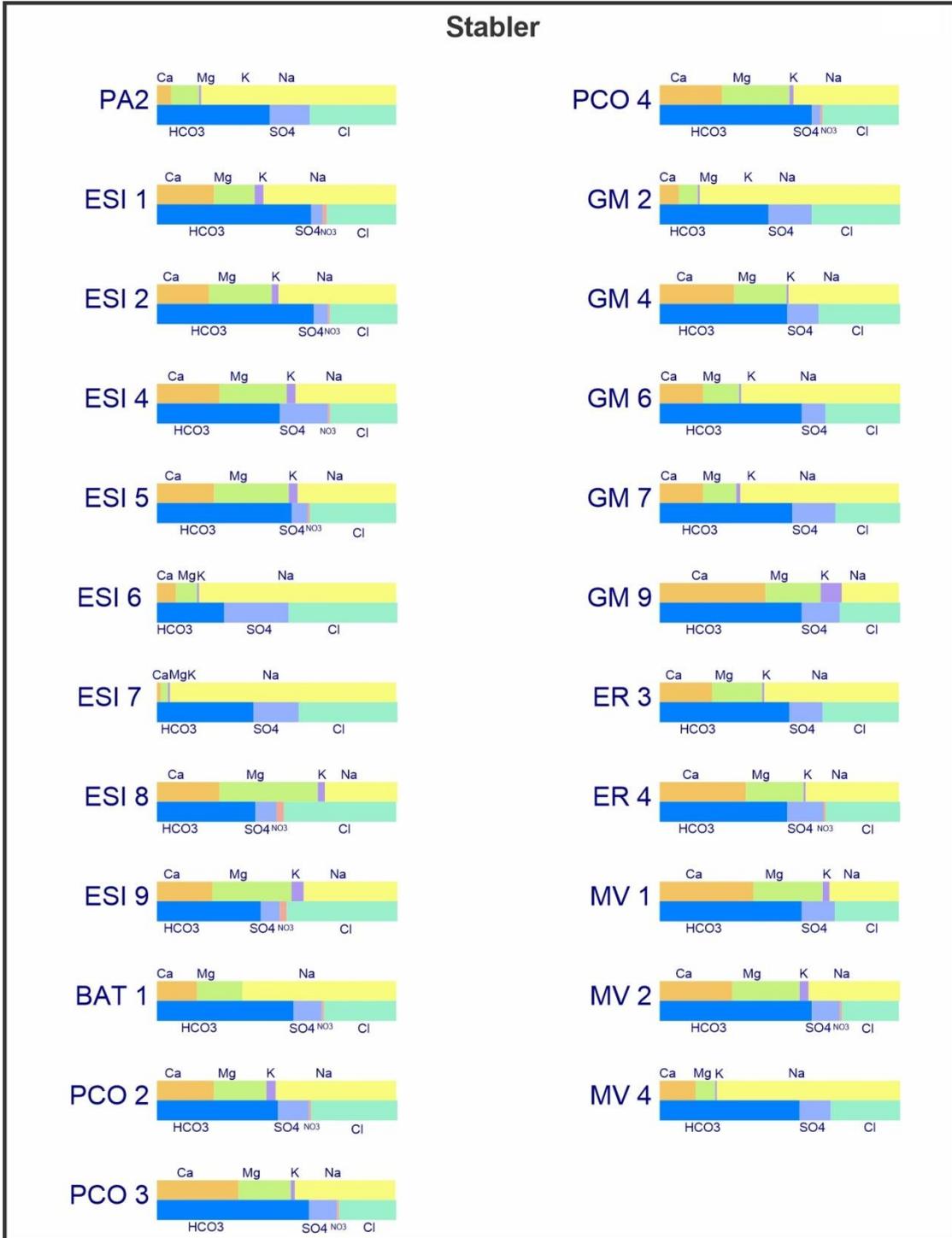


Figura Anexo 2.8: Diagramas Stabler.

 Departamento de Química	LABORATORIO INSTRUMENTAL DE USO COMPARTIDO (LIUC) http://www.quimica.uns.edu.ar/liuc2/servicios.html	C C T BAHIA BLANCA CONICET INSTITUTO																			
		AÑO 2018	Informe ID: 0092018	Determinación de fluoruros en 5 muestras de agua natural	Páginas: 1 de 1																
Solicitante: Dr. René Albouy, Depto Geología-UNS																					
		<table border="1"><thead><tr><th>ID</th><th>F</th></tr></thead><tbody><tr><td>Muestra</td><td>mg/L</td></tr><tr><td>pCO2</td><td>0,43</td></tr><tr><td>ESI1</td><td>0,83</td></tr><tr><td>MV1</td><td>1,35</td></tr><tr><td>GM1</td><td>3,87</td></tr><tr><td>GM2</td><td>0,72</td></tr><tr><td>Limite de detección método analítico</td><td>0,2 SM 4500-F</td></tr></tbody></table>		ID	F	Muestra	mg/L	pCO2	0,43	ESI1	0,83	MV1	1,35	GM1	3,87	GM2	0,72	Limite de detección método analítico	0,2 SM 4500-F		
ID	F																				
Muestra	mg/L																				
pCO2	0,43																				
ESI1	0,83																				
MV1	1,35																				
GM1	3,87																				
GM2	0,72																				
Limite de detección método analítico	0,2 SM 4500-F																				

cita SM: American Public Health Association. (1998). American Water Works Association and Water Environment Federation. 1998. "Standard methods for the examination of water and wastewater", Vol. 20.

Lic. Loreta Sena Marani
UNS-CONICET

Dr. Marcelo T. Pereyra
UNS-CONICET
Matrícula CPQ Nº 4545

Avda. Alem 1253 8000 – Bahía Blanca Argentina
TE + 54-0291-4595101 ext. 3580 FAX +54-0291-4595160



LANAQUI
Laboratorio de Análisis Químicos
CERZOS - CONICET - UNS



Bahía Blanca, 19 de diciembre de 2018.

INSTITUCIÓN Y/O EMPRESA: Dr. René Albouy - Lic. Andrés Ruffo
Dpto de Geología - UNS

PROCEDENCIA Y TIPO DE MUESTRA: agua

ANÁLISIS SOLICITADO: salinidad

RESULTADOS:

Muestra	pH	C.E. (dS/m)	Na (mg/L)	Mg (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)
PCLL 1	5.1	0.046	5,64	0,74	0,32	2,00
PCLL 2	6.2	0.047	6,30	0,50	0,48	0,72
PCLL 3	6.1	0.015	1,09	0,27	0,49	0,49
PCLL 4	6.1	0.028	3,51	0,53	1,02	1,01
PCLL 5	6.3	0.045	0,94	0,47	1,28	1,50

Muestra	Cl- (mg/L)	SO4-- (mg/L)	HCO3- (mg/L)	CO3-- (mg/L)
PCLL 1	11,2	5,2	5,2	libre
PCLL 2	10,2	2,4	9,1	libre
PCLL 3	4,6	0,6	3,0	Libre
PCLL 4	7,9	1,4	8,3	libre
PCLL 5	6,3	1,7	10,4	libre

Ing. Qca. Miryam Crespo

Dr. Claudio Ferrarello

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA
TEL: 0291-4595102/ 4526533 (int. 4313)
E-mail: mcrespo@criba.edu.ar
FAX : 0291-4595127

Laboratorio equipado con instrumental



analítico de alta precisión donado por Japón



LANAQUI
Laboratorio de Análisis Químicos
CERZOS - CONICET - UNS



Bahía Blanca, 21 de agosto de 2018.

INSTITUCIÓN Y/O EMPRESA: Dr. René Albouy - Lic. Andrés Ruffo
Dpto de Geología - UNS

PROCEDENCIA Y TIPO DE MUESTRA: agua

ANÁLISIS SOLICITADO: salinidad y arsénico

RESULTADOS:

Muestra	pH	C.E. (dS/m)	SDT (mg/L)	Na (mg/L)	Mg (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)
ESI 4	7,7	0,6	213	57,38	19,94	9,69	31,13
ESI 6	8,3	3,85	2112	672,61	38,59	15,56	57,12
PCO 2	7,7	0,61	189	70,91	17,05	9,42	30,65
PCO3	7,8	0,73	264	69,21	18,56	5,63	48,24
PCO 4	7,6	0,59	210	57,59	18,96	4,03	28,85
GM 1	8,3	2,0	1121	416,46	13,26	< 1,00	23,28
GM2	8,6	1,2	555	235,84	11,63	3,86	19,22
GM 4	8,0	0,7	320	73,19	18,19	3,57	43,65
GM 6	7,8	1,67	820	240,57	29,41	8,86	58,43
GM 7	8,0	1,43	740	216,40	23,20	8,89	51,73
GM 9	7,5	0,53	239	26,76	13,02	17,39	41,67
ER 3	8,2	1,25	765	163,31	32,77	5,97	54,94
ER 4	7,6	0,73	371	63,71	20,47	3,64	51,10
MV 1	8,1	0,56	222	36,49	18,85	6,53	42,24
MV 4	8,4	0,72	366	120,85	6,47	3,22	20,21

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA
TEL: 0291-4595102/ 4526533 (int. 4313)
E-mail: mcrespo@criba.edu.ar
FAX : 0291-4595127

Laboratorio equipado con instrumental



analítico de alta precisión donado por Japón



LANAQUI
Laboratorio de Análisis Químicos
CERZOS - CONICET - UNS



Muestra	Cl- (mg/L)	SO4-- (mg/L)	HCO3- (mg/L)	CO3-- (mg/L)	N-NO3- (mg/L)	Alcalinidad (mg/L)	Dureza (mg/L)	As (mg/L)
ESI 4	66,9	64,9	205,3	libre	5,46	153	159,7	< 0,010
ESI 6	556,5	442,1	577,1	39,6	0,28	490	301,3	0,014
PCO 2	74,3	35,9	181,8	libre	3,78	136	146,7	0,019
PCO3	60,5	40,4	275,8	libre	4,34	206	196,7	< 0,010
PCO 4	62,7	10,3	212,0	libre	2,10	158	150,0	0,013
GM 1	199,7	230,2	512,6	52,1	3,22	465	112,7	0,063
GM2	142,3	94,9	299,9	29,7	0,42	285	95,8	0,021
GM 4	91,3	48,4	240,9	libre	1,40	180	183,7	0,010
GM 6	171,0	74,9	556,3	libre	3,08	415	266,8	0,018
GM 7	137,0	121,6	485,1	libre	0,42	362	224,5	0,024
GM 9	47,3	40,7	195,9	libre	0,28	146	157,6	0,024
ER 3	148,7	88,1	422,1	libre	0,56	315	271,9	0,018
ER 4	85,0	54,6	248,9	libre	5,60	186	211,7	0,025
MV 1	60,5	42,8	224,1	libre	0,42	167	183,0	0,016
MV 4	80,7	48,3	277,1	libre	0,56	207	77,1	0,045

Ing. Qca. Miryam Crespo

Dr. Claudio Ferrarello

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA
TEL: 0291-4595102/ 4526533 (int. 4313)
E-mail: mcrespo@criba.edu.ar
FAX : 0291-4595127

Laboratorio equipado con instrumental



analítico de alta precisión donado por Japón



LANAQUI
Laboratorio de Análisis Químicos
CERZOS - CONICET - UNS



Bahía Blanca, 9 de octubre de 2018,

INSTITUCIÓN Y/O EMPRESA: Dr, René Albouy - Dr, Andrés Ruffo
Dpto de Geología - UNS

PROCEDENCIA Y TIPO DE MUESTRA: agua

ANÁLISIS SOLICITADO: salinidad

RESULTADOS:

Muestra	pH	C,E, (dS/m)	SDT (mg/L)	Na (mg/L)	Mg (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)
ESI 1	8,2	0,66	298	81,2	13,0	10,0	30,8
ESI 7	8,3	0,88	366	179,8	2,73	3,78	3,37
MV 2	7,7	0,27	96,4	22,2	8,62	4,28	15,4

Muestra	Cl- (mg/L)	SO4-- (mg/L)	HCO3- (mg/L)	CO3-- (mg/L)	N-NO3- (mg/L)	Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)	Dureza (mg/L)
ESI 1	67,2	15,8	254,4	libre	6,58	416,9	130,3
ESI 7	118,9	76,6	206,2	libre	0,98	337,9	19,6
MV 2	25,8	18,0	116,1	libre	1,26	190,3	73,9

Ing, Qca, Miryam Crespo

Dr, Claudio Ferrarello

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA
TEL: 0291-4595102/ 4526533 (int, 4313)
E-mail: mcrespo@criba.edu.ar
FAX : 0291-4595127

Laboratorio equipado con instrumental



analítico de alta precisión donado por Japón



LANAQUI
Laboratorio de Análisis Químicos
CERZOS - CONICET - UNS



Bahía Blanca, 11 de julio de 2019.

INSTITUCIÓN Y/O EMPRESA: Dr. René Albouy - Lic. Andrés Ruffo
Dpto de Geología - UNS

PROCEDENCIA Y TIPO DE MUESTRA: agua

RESULTADOS:

Muestra	pH	C.E. (dS/m)	SDT (mg/L)	Na (mg/L)	Mg (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)
ESI 2	7,5	0,79	286	89,1	25,4	8,18	34,5
ESI 5	7,8	0,47	92	41,6	16,8	6,15	21,0
ESI 8	7,7	0,5	103	32,2	23,6	5,68	24,3
ESI 9	7,7	0,59	210	54,6	23,5	11,10	26,8
PA 2	7,7	1,52	594	283,7	21,2	8,52	17,3

Muestra	Cl- (mg/L)	SO4-- (mg/L)	HCO3- (mg/L)	CO3-- (mg/L)	N-NO3- (mg/L)	Alcalinidad (mg/L)	Dureza (mg/L)	As (mg/L)
ESI 2	82,6	22,7	328,0	libre	5,6	580,1	190,6	0,013
ESI 5	58,5	15,0	160,4	libre	2,1	160,4	121,5	< 0,010
ESI 8	87,2	22,2	131,8	libre	10,9	131,8	157,7	< 0,010
ESI 9	102,5	24,5	167,8	libre	11,5	167,8	163,6	< 0,010
PA 2	191,5	125,1	438,0	libre	1,5	438,0	130,4	0,010

Ing. Qca. Miryam Crespo

Dr. Claudio Ferrarello

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA
TEL: 0291-4595102/ 4526533 (int. 4313)
E-mail: mcrespo@criba.edu.ar
FAX : 0291-4595127

Laboratorio equipado con instrumental



analítico de alta precisión donado por Japón

Ruffo A. G. "Hidrogeología de las dunas en el ambiente costero suroccidental de la provincia de Buenos Aires, Argentina."



LABORATORIO BROMATOLOGICO

Corresponde a : CAMPING DON HORACIO
Solicitado por: CAMPING DON HORACIO
Fecha de admisión: 27/01/09

N° de Informe: 90127
Fecha de emisión: 20
Hoja: 1

ANALISIS BACTERIOLOGICO DE AGUA

Muestra procedente de.....: PEHUENCO
Sitio de extracción de la muestra.: CAMPING DON HORACIO
Fecha de extracción de la muestra.: -
Fecha de emisión del informe.....: 04/02/09

Extracción realizada por personal de la empresa solicitante

ANALISIS BACTERIOLOGICO DE AGUA

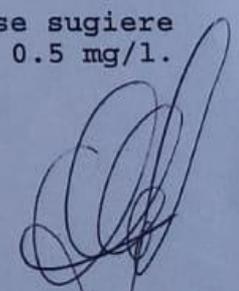
Bacterias aerobias heterotrofas...:	3200	Ufc/ml
Bacterias coliformes totales	< 3	NMP/100 ml
C.E.K. (Citrob-Enterob-Klebsiella):	< 3	NMP/100 ml
Escherichia Coli	NEGATIVO	
Pseudomonas aeruginosa .. .	NEGATIVO	/100 ml
Cloro residual total .. .	< 0.05	mg/l

CONCLUSION:

La muestra analizada supera el límite máximo permitido por el art. 982 del Código Alimentario Argentino para el parámetro bacterias aerobias mesófilas totales. (500 ufc/ml).-

SE RECOMIENDA LA HIGIENIZACION DEL RESERVORIO Y LA REALIZACION DE UN NUEVO RECuento.-

Para asegurar la desinfección del líquido se sugiere una concentración de cloro residual mayor a 0.5 mg/l.


Dr. RICARDO MUSSINI
LIC. EN QUIMICA
DIRECTOR TECNICO
LABORATORIO INDUSTRIAL BROMATOLOGICO
MPCPO 3461
CUIT 23-12070617-9



Corresponde a : SOC FOMENTO AMIGOS PE AGUA BOMBA
Solicitado por : PARTD PARTICULAR DARWIN
Nro. de informe: 005-65713-142

Fecha de admisión: 30/11/2020 - 08:10
Fecha de emisión : 10/12/2020 - 14:00
Página :1/1

EXAMEN BACTERIOLÓGICO DE AGUA

Tipo de muestra: AGUA
Procedencia y sitio de extracción: CAMPING DON HORACIO - PEHUEN-CO - BOMBA 1
Fecha de extracción: 29/11/20

BACTERIAS AEROBIAS HETERÓTROFAS	< 10	UFC/mL
BACTERIAS COLIFORMES TOTALES	< 3	NMP/100 mL
C.E.K. (Citrob-Enterob-Klebsiella)	< 3	NMP/100 mL
Escherichia coli	AUSENCIA	
Pseudomonas aeruginosa	AUSENCIA	/100 mL
CLORO RESIDUAL TOTAL	< 0.10	mg/L

CONCLUSIÓN: De acuerdo a las determinaciones realizadas, la muestra analizada cumple con las exigencias microbiológicas establecidas en el artículo 982 del Código Alimentario Argentino.

Observaciones: Muestra solicitada por Rey Daniel y extraída y remitida por Ricardo Mussini.-
Extracción: 30/11/2020 - 08:10
Fecha de firma: 10/12/2020 - 14:00

Dra. Alejandra K. Ortíz
Bioquímica - M.P. 609

FIRMA DIGITAL

281E1B0C12141E1C0C0DFB0E1E1E1FFCFDFAFD0D312F2F2E2F2E3635252F2B1B76

Laboratorio Bromatológico Industrial y de Medio Ambiente

SEDE DARWIN
Darwin 530
Bahía Blanca
0291-459-9999
adindustrial@iaca.com.ar

www.iaca.com.ar



LABORATORIO BROMATOLOGICO

Corresponde a : SOC.FOM.AMIGOS DE PEHUENCO
Solicitado por: DR.REY DANIEL
Fecha de admisión: 18/03/14

N° de Informe: 403181514
Fecha de emisión: 28/03/14
Hoja: 1

ANALISIS BACTERIOLOGICO DE AGUA

Muestra procedente de.....: PEHUENCO
Sitio de extracción de la muestra.: PERFORACION NUEVA
Fecha de extracción de la muestra.: 16/03/2014
Fecha de emisión del informe.....: 26/03/2014

Extracción realizada por el solicitante.

ANALISIS BACTERIOLOGICO DE AGUA

Bacterias aerobias heterotrofas...	2500	Ufc/ml
Bacterias coliformes totales	3	NMP/100 ml
C.E.K. (Citrob-Enterob-Klebsiella):	3	NMP/100 ml
Escherichia Coli	NEGATIVO	
Pseudomonas aeruginosa	POSITIVO	/100 ml
Cloro residual total	< 0.01	mg/l

CONCLUSION:

La muestra analizada presenta un elevado Recuento de bacterias aerobias mesófilas(V.máx según el CAA : 500 ufc/ml).

Se detecta la presencia del patógeno Pseudomona aeruginosa.

AGUA BACTERIOLOGICAMENTE NO POTABLE.

Dr. RICARDO MUSSINI
LIC. EN QUIMICA
DIRECTOR TECNICO
LABORATORIO BROMATOLOGICO
MPCPO 2461
LABORATORIO INDUSTRIAL - MEDIO AMBIENTE
IACA LABORATORIOS



LABORATORIO BROMATOLOGICO

Corresponde a : AGUA POZO N° 1 B N INFANTERIA BATERIAS
Solicitado por : 101548 BASE INFANTERIA MARINA PAC
Nro. de informe: 005-64636-637

Fecha de admisión: 19/12/2017 - 09:37

Fecha de emisión : 02/01/2018 - 11:41

Página :1/1

EXAMEN FISICOQUÍMICO DE AGUA

Tipo de muestra: AGUA

Procedencia y sitio de extracción: POZO 1

COLOR	INCOLORA	
TURBIEDAD		1 NTU
OLOR	INODORA	
pH		7,3
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES		451 mg/L
DUREZA TOTAL (en CaCO ₃)		150 mg/L
ALCALINIDAD TOTAL (en CaCO ₃)		262 mg/L
CLORUROS		80 mg/L
SULFATOS		43 mg/L
CALCIO		28 mg/L
NITRATOS		4 mg/L
NITRITOS		< 0,05 mg/L
AMONIO		< 0,1 mg/L
ARSÉNICO *		- mg/L
FLUORUROS **		0,95 mg/L
SODIO		125 mg/L
MAGNESIO		19 mg/L

*Nota: La autoridad sanitaria competente podrá admitir valores distintos si la composición normal del agua de la zona y la imposibilidad de aplicar tecnologías de corrección lo hicieran necesario. Para aquellas regiones del país con suelos de alto contenido de arsénico, se establece un plazo de hasta 5 años para adecuarse al valor de 0,01 mg/L (Modificado por Resolución Conjunta SPRel N° 34/2012 y SAGyP N° 50/2012) Prorrógase el plazo de cinco (5) años previsto para alcanzar el valor de 0,01 mg/L de arsénico hasta contar con los resultados del estudio "Hidroarsenicismo y Saneamiento Básico en la República Argentina - Estudios básicos para el establecimiento de criterios y prioridades sanitarias en cobertura y calidad de aguas" cuyos términos fueron elaborados por la Subsecretaría de Recursos Hídricos del Ministerio de Planificación Federal.

**Nota: Este parámetro es interpretado según el máximo permitido por el CAA sin tener en cuenta la variable temperatura media y máxima del año de la zona.
Para Bahía Blanca y zona de influencia el límite superior es 1,3 mg/L.
Según Ley 11.820 de la Provincia Buenos Aires el valor máximo tolerable es de 1,5 mg/L.

Observaciones: La muestra analizada cumple con los límites establecidos por el Art. 982 del Código Alimentario Argentino.-

Extracción: 19/12/2017 - 09:37

Fecha de
firma: 02/01/2018 - 11:40

ARSÉNICO

< 0.005 mg/l

Material: AGUA DE POZO

Método: ICP - AES - Espectroscopia de emisión de plasma acoplado inductivamente

Extracción: 19/12/2017 - 09:37

Fecha de firma: 02/01/2018 - 11:40

Dr. Cristian E. Gonzalez
Lic. en Química - M.P.C.P.Q. 5469

FIRMA DIGITAL

20F0DC0D07F0F109FFFA03ECEEE4E905030EF22B2B06EBF5F9F000E5D2E9E1FD03FDF5F6F49B



LABORATORIO BROMATOLOGICO

Corresponde a : AGUA POZO N° 2 B. N. INFANTERIA BATERIAS Fecha de admisión: 19/12/2017 - 09:40
Solicitado por : 101548 BASE INFANTERIA MARINA PAC Fecha de emisión : 02/01/2018 - 11:37
Nro. de informe: 005-64636-654 Página :1/1

EXAMEN FISICOQUÍMICO DE AGUA

Tipo de muestra: AGUA

Procedencia y sitio de extracción: POZO 2

COLOR	INCOLORA	
TURBIEDAD		1 NTU
OLOR	INODORA	
pH		7,1
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES		587 mg/L
DUREZA TOTAL (en CaCO3)		300 mg/L
ALCALINIDAD TOTAL (en CaCO3)		262 mg/L
CLORUROS		90 mg/L
SULFATOS		37 mg/L
CALCIO		60 mg/L
NITRATOS		5 mg/L
NITRITOS		< 0,05 mg/L
AMONIO		< 0,1 mg/L
ARSENICO *		- mg/L
FLUORUROS **		0,8 mg/L
SODIO		107 mg/L
MAGNESIO		36 mg/L

*Nota: La autoridad sanitaria competente podrá admitir valores distintos si la composición normal del agua de la zona y la imposibilidad de aplicar tecnologías de corrección lo hicieran necesario. Para aquellas regiones del país con suelos de alto contenido de arsénico, se establece un plazo de hasta 5 años para adecuarse al valor de 0,01 mg/L (Modificado por Resolución Conjunta SPReL N° 34/2012 y SAGyP N° 50/2012) Prorrógase el plazo de cinco (5) años previsto para alcanzar el valor de 0,01 mg/L de arsénico hasta contar con los resultados del estudio "Hidroarsenicismo y Saneamiento Básico en la Republica Argentina - Estudios básicos para el establecimiento de criterios y prioridades sanitarias en cobertura y calidad de aguas" cuyos términos fueron elaborados por la Subsecretaría de Recursos Hídricos del Ministerio de Planificación Federal.

**Nota: Este parámetro es interpretado según el máximo permitido por el CAA sin tener en cuenta la variable temperatura media y máxima del año de la zona.
Para Bahía Blanca y zona de influencia el límite superior es 1,3 mg/L.
Según Ley 11.820 de la Provincia Buenos Aires el valor máximo tolerable es de 1,5 mg/L.

Observaciones: La muestra analizada cumple con los límites establecidos por el Art. 982 del Código Alimentario Argentino.-

Extracción: 19/12/2017 - 09:40

Fecha de firma: 02/01/2018 - 11:36

ARSENICO

< 0.005 mg/l

Material: AGUA DE POZO

Método: ICP - AES - Espectroscopia de emisión de plasma acoplado inductivamente

Extracción: 19/12/2017 - 09:40 Fecha de firma: 02/01/2018 - 11:36

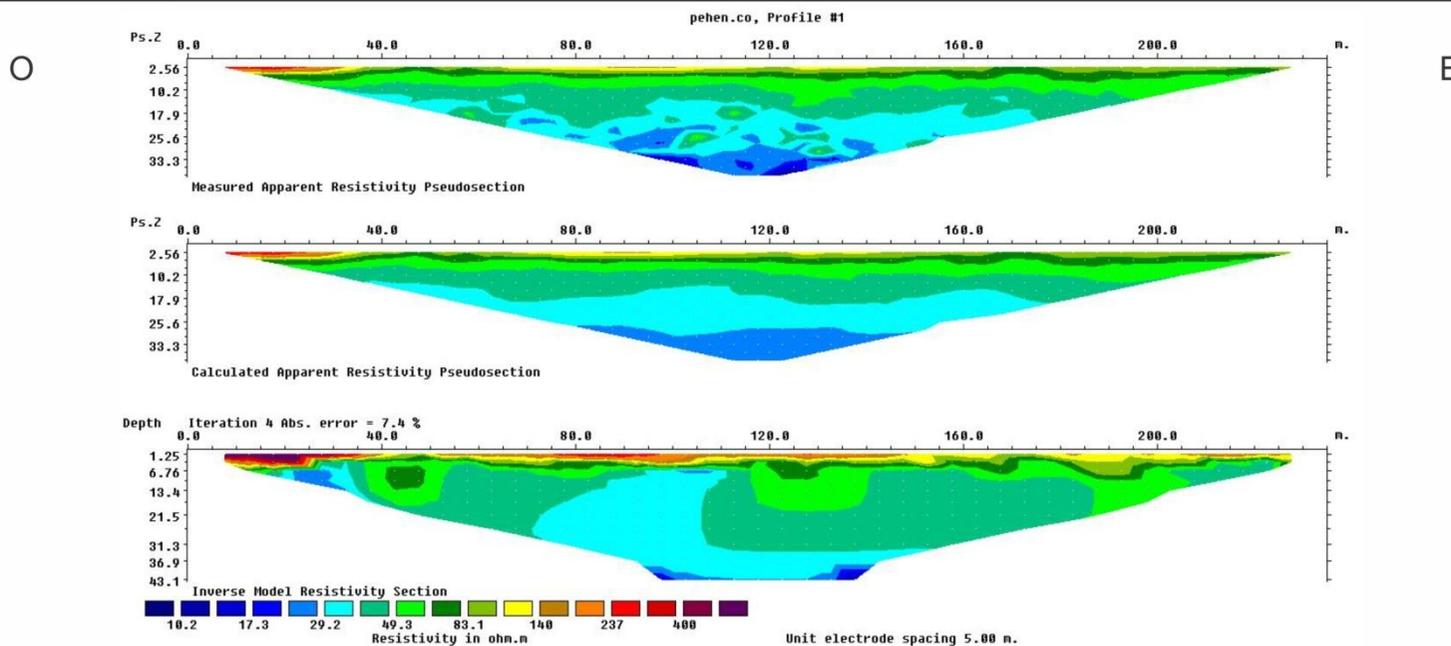
Dr. Cristian E. Gonzalez
Lic. en Química - M.P.C.P.Q. 5469

FIRMA DIGITAL

1CF0DD0E07F0F109F6E5F7DDEBE1E9060412F52320FCECF6F9F00E5D2F0E80403FCF4F5FB9B

ANEXO III

Geofísica



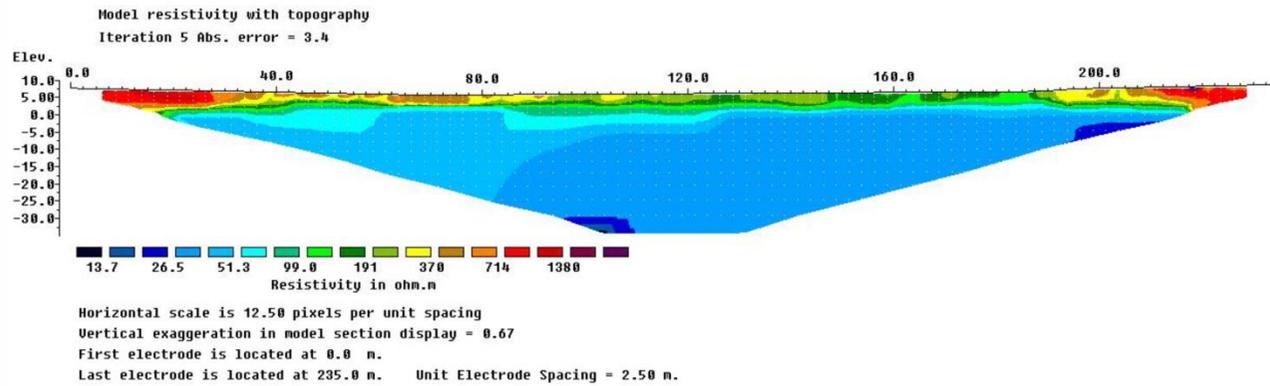
Metodología: WENNER
 Ubicación de los extremos
 Inicial (O): 38°59'31.45" S; 61°34'26.41" O
 Final (E): 38°59'30.47" S; 61°34'16.63" O



S

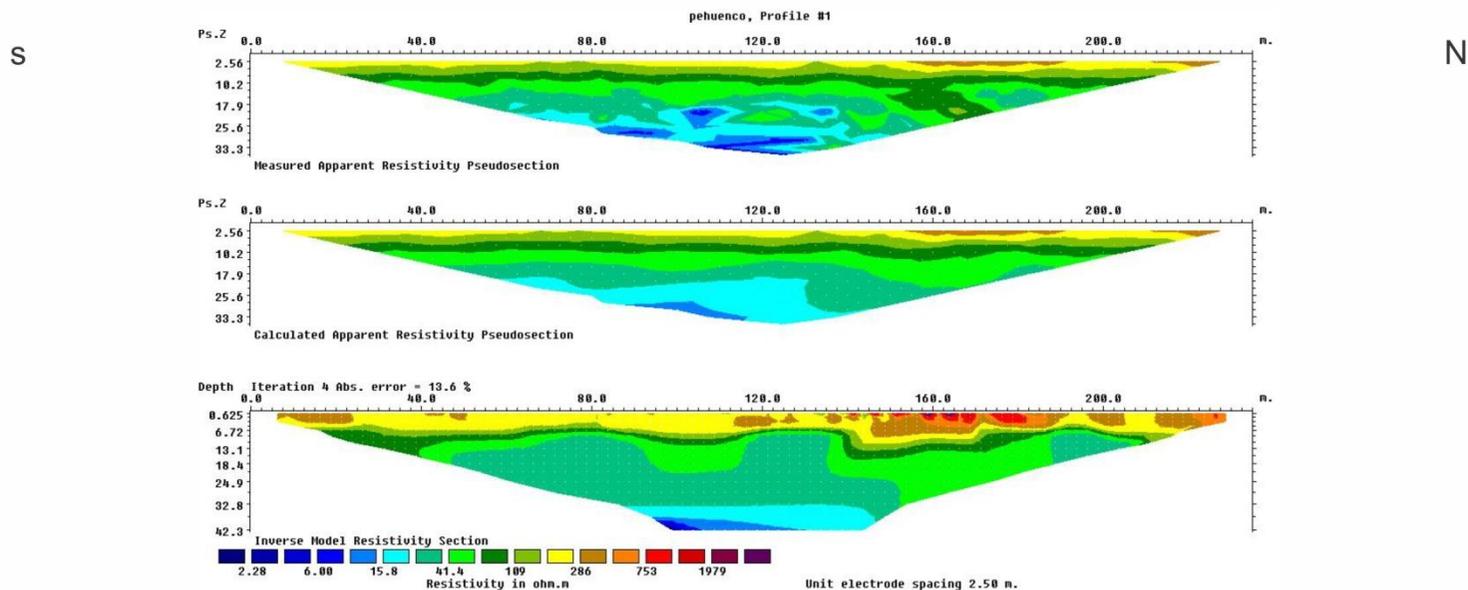
N

pehuenco, Profile #1



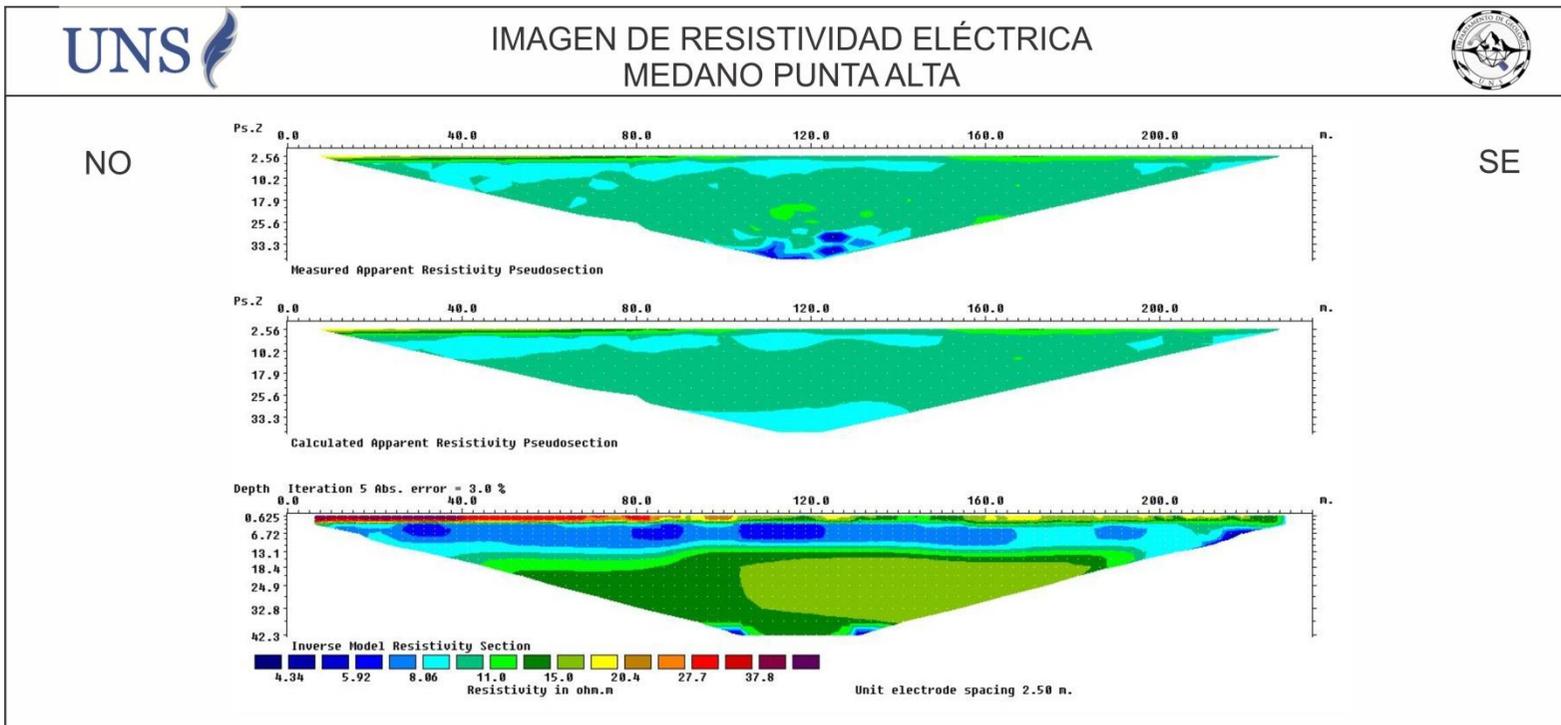
Metodología: WENNER
Ubicación de los extremos
Inicial (S): 39°0'6.87" S; 61°35'7.82" O
Final (N): 38°59'59.33" S; 61°35'9.69" O





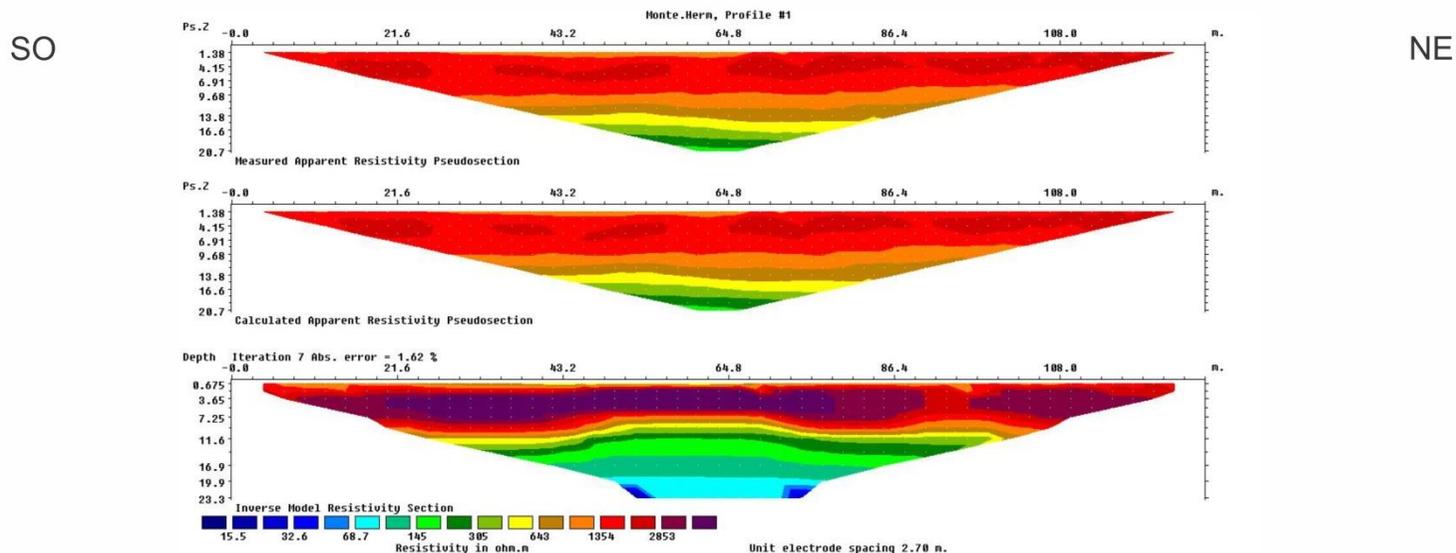
Metodología: WENNER
 Ubicación de los extremos
 Inicial (S): 39°0'2.52" S; 61°32'14.98" O
 Final (N): 38°59'54.87" S; 61°32'17.28" O





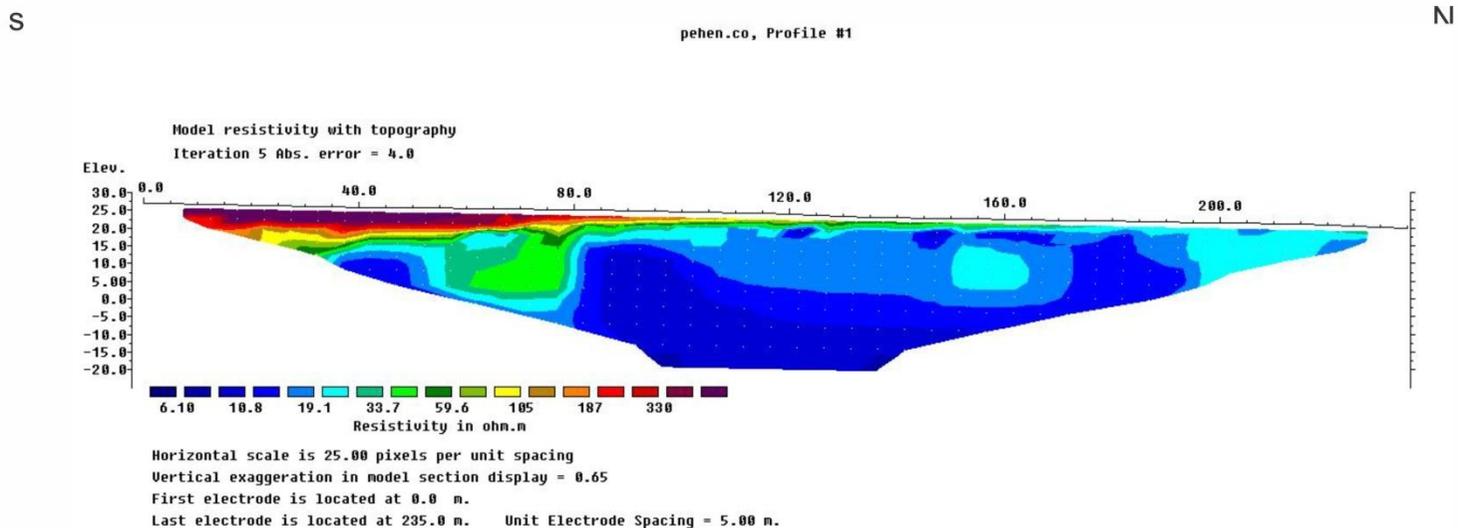
Metodología: WENNER
 Ubicación de los extremos
 Inicial (NO): 38°52'54.29" S; 61°59'19.66" O
 Final (SE): 38°52'59.61" S; 61°59'12.66" O





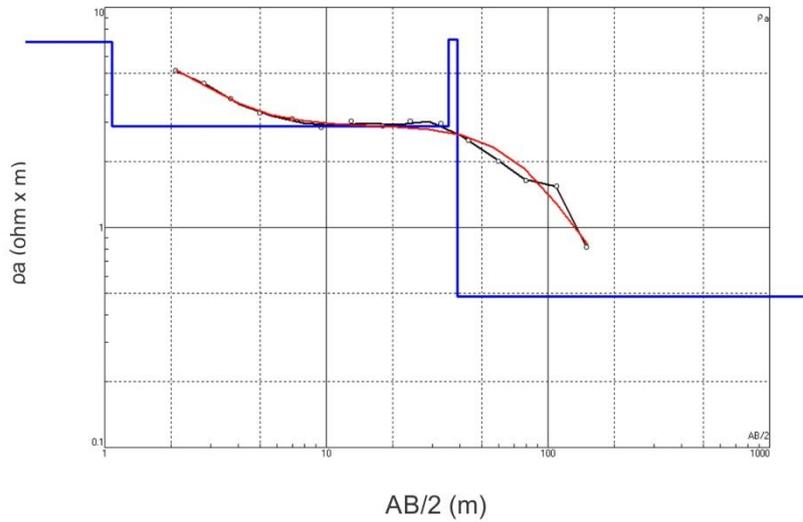
Metodología: WENNER
 Ubicación de los extremos
 Inicial (SO): 38°58'39.87" S; 61°18'11.69" O
 Final (NE): 38°58'36.57" S; 61°18'5" O





Metodología: WENNER
 Ubicación de los extremos
 Inicial (S): 38°56'45.16" S; 61°32'57.60" O
 Final (N): 38°56'38.62" S; 61°32'58.39" O





N	ρ	h	d	Alt
1	6.97	1.08	1.08	-1.081
2	2.89	34.5	35.6	-35.62
3	7.15	3.43	39	-39.04
4	0.485			

Ubicación

(Base Baterías)

Datos de campo



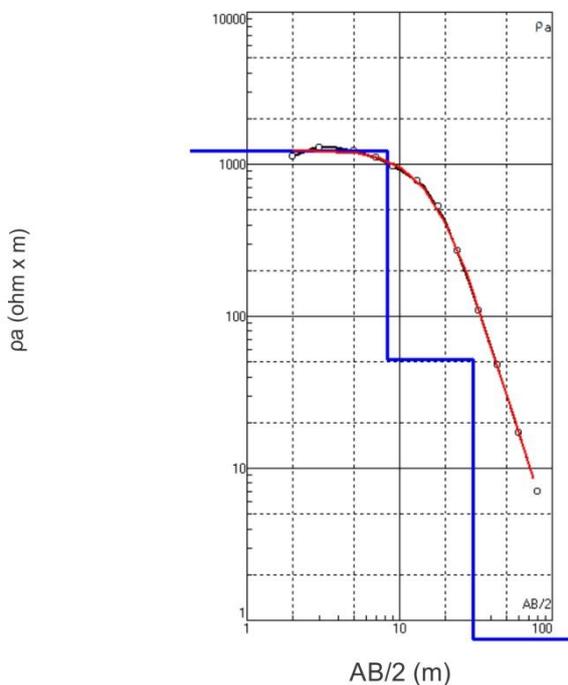
SEV 1	
AB/2	ρ Aparente MEDIDA
2,1	5,15
2,8	4,51
3,7	3,83
5	3,3
7	3,12
9,5	2,83
13	3,03
18	2,88
24	3,03
33	2,95
44	2,47
60	2
80	1,63
110	1,53
150	0,81

Fuente de los datos de campo: Instituto Nacional del Agua

Interpretación:
Lic. Andrés G. Ruffo



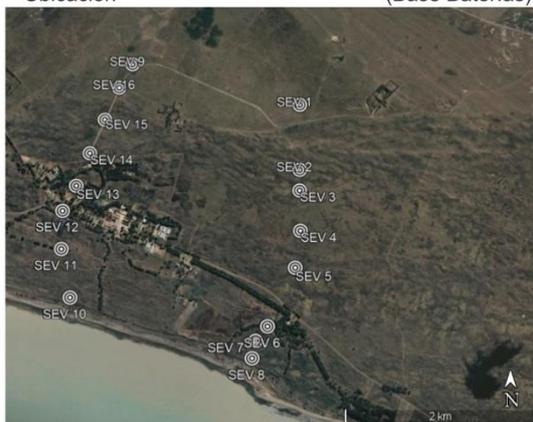
Sondeo eléctrico vertical N° 2



N	ρ	h	d	Alt
1	1233	8.3	8.3	-8.305
2	52	22	30.3	-30.3
3	0.343			

Ubicación

(Base Baterías)

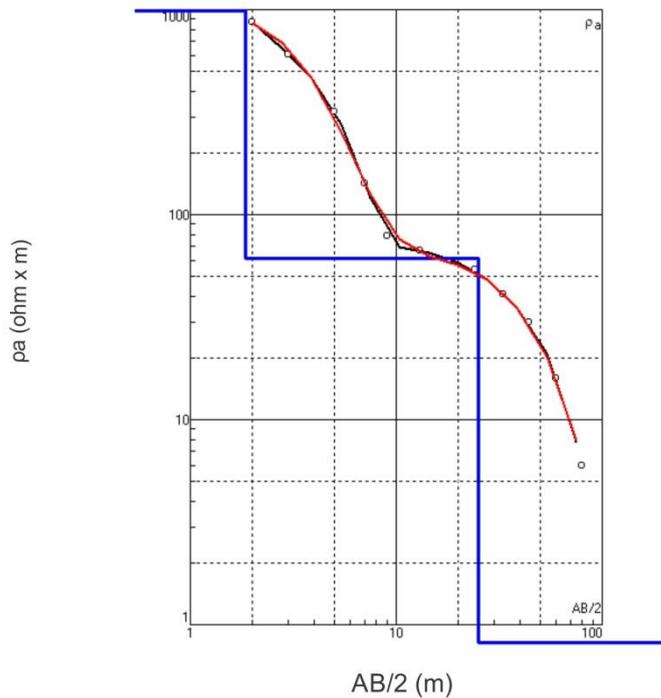


Datos de campo

SEV 2	
AB/2	ρ Aparente MEDIDA
2	1120
3	1297
5	1219
7	1100
9	965
13	783
18	527
24	268
33	108
44	48
60	17
80	7

Fuente de los datos de campo: Instituto Nacional del Agua

Interpretación:
Lic. Andrés G. Ruffo



N	ρ	h	d	Alt
1	1028	1.86	1.86	-1.856
2	61.4	23.2	25	-25.02
3	0.109			

Ubicación

(Base Baterías)

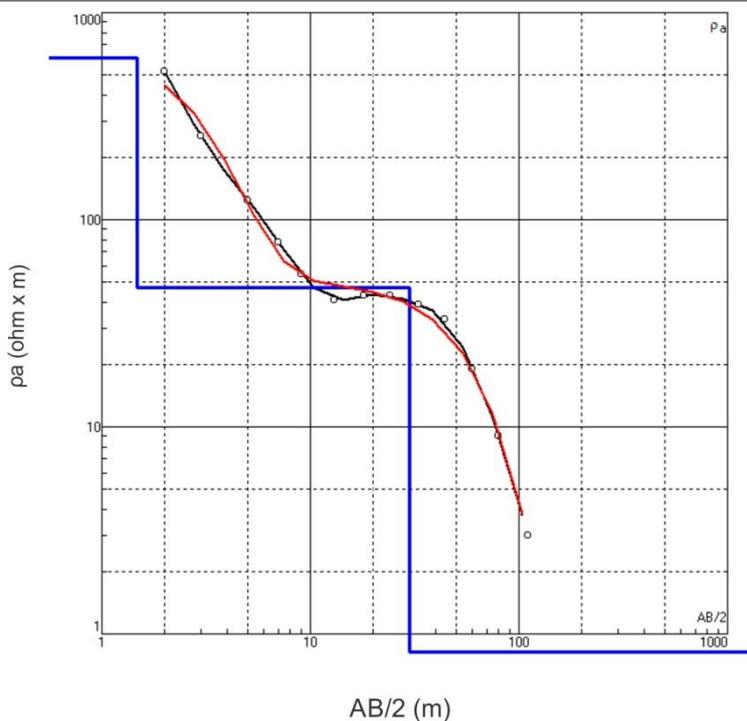


Datos de campo

SEV 3	
AB/2	ρ Aparente MEDIDA
2	1153
2	869
3	606
5	320
7	143
9	79
13	67
18	60
24	54
33	41
44	30
60	16
80	6

Fuente de los datos de campo: Instituto Nacional del Agua

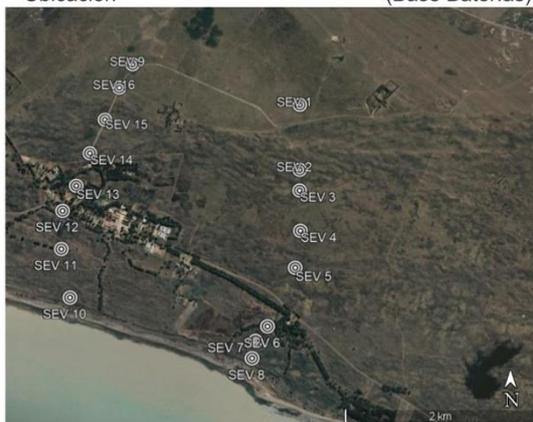
Interpretación:
Lic. Andrés G. Ruffo



N	ρ	h	d	Alt
1	604	1.48	1.48	-1.479
2	46.9	28.5	30	-30.03
3	0.0773			

Ubicación

(Base Baterías)

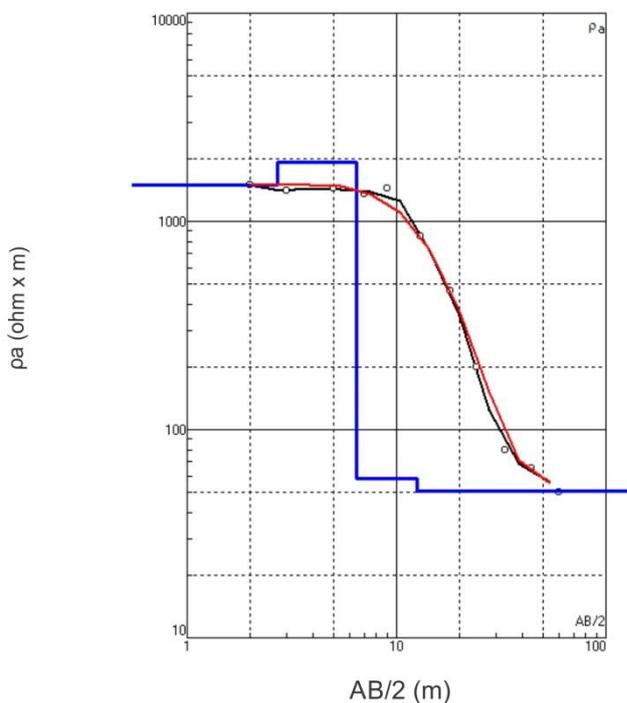


Datos de campo

SEV 4	
AB/2	ρ Aparente MEDIDA
2	859
2	518
3	253
5	124
7	78
9	55
13	41
18	43
24	43
33	39
44	33
60	19
80	9
110	3

Fuente de los datos de campo: Instituto Nacional del Agua

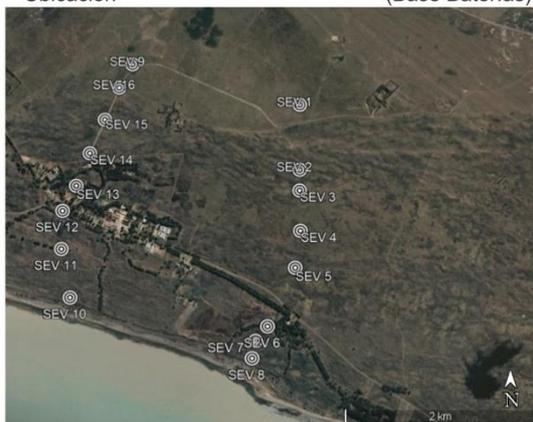
Interpretación:
Lic. Andrés G. Ruffo



N	ρ	h	d	Alt
1	1496	2.71	2.71	-2.708
2	1924	3.73	6.44	-6.438
3	58.2	6.1	12.5	-12.54
4	50.7			

Ubicación

(Base Baterías)

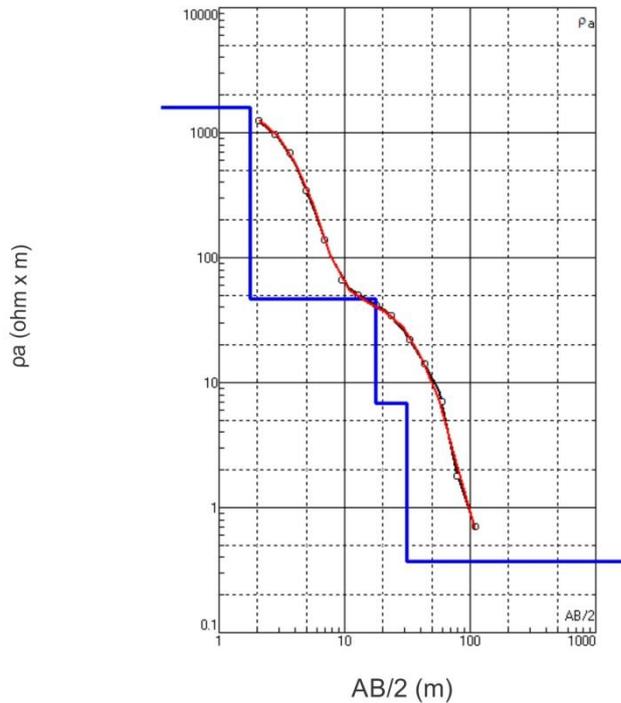


Datos de campo

SEV 5	
AB/2	ρ Aparente MEDIDA
2	1757
2	1496
3	1404
5	1442
7	1352
9	1440
13	850
18	465
24	201
33	80
44	65
60	50

Fuente de los datos de campo: Instituto Nacional del Agua

Interpretación:
Lic. Andrés G. Ruffo



N	ρ	h	d	Alt
1	1605	1.77	1.77	-1.769
2	46.7	15.9	17.7	-17.69
3	6.84	13.6	31.3	-31.29
4	0.371			

Ubicación

(Base Baterías)

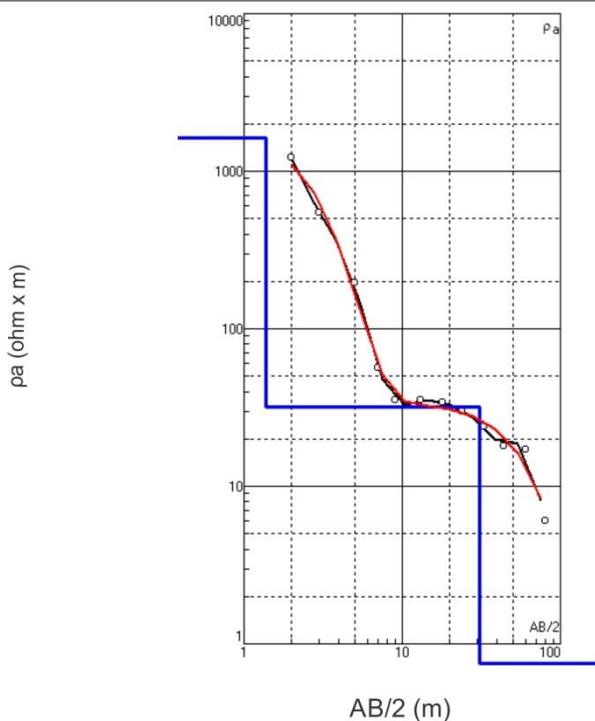


Datos de campo

SEV 6	
AB/2	ρ Aparente MEDIDA
2,1	1241
2,8	966
3,7	678
5	338
7	137
9,5	66
13	50
18	41,5
24	34
33	22
44	14
60	7
80	1,77
110	0,7

Fuente de los datos de campo: Instituto Nacional del Agua

Interpretación:
Lic. Andrés G. Ruffo

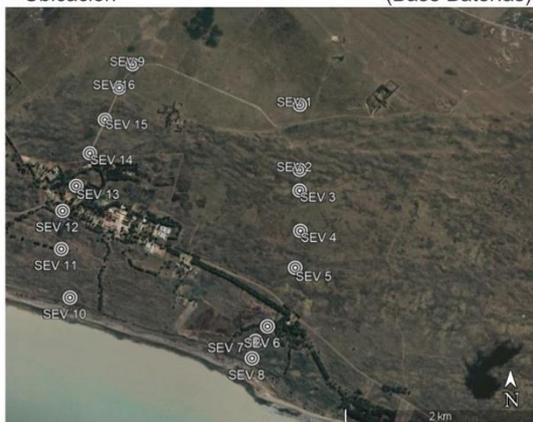


N	ρ	h	d	Alt
1	1637	1.39	1.39	-1.388
2	32.1	29.4	30.8	-30.81
3	0.136			

Ubicación

(Base Baterías)

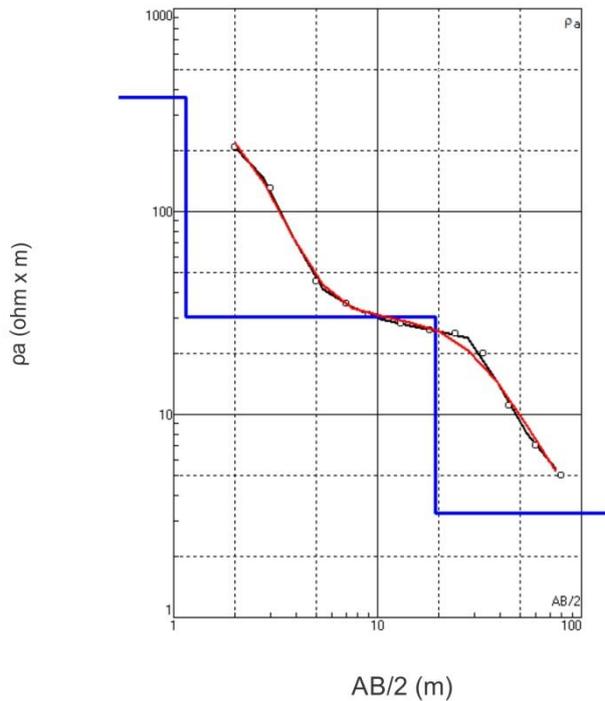
Datos de campo



SEV 7	
AB/2	ρ Aparente MEDIDA
2	2007
2	1218
3	544
5	195
7	56
9	35
13	35
18	34
24	30
33	24
44	18
60	17
80	6

Fuente de los datos de campo: Instituto Nacional del Agua

Interpretación:
Lic. Andrés G. Ruffo



N	ρ	h	d	Alt
1	368	1.15	1.15	-1.148
2	30.1	18	19.1	-19.14
3	3.27			

Ubicación

(Base Baterías)

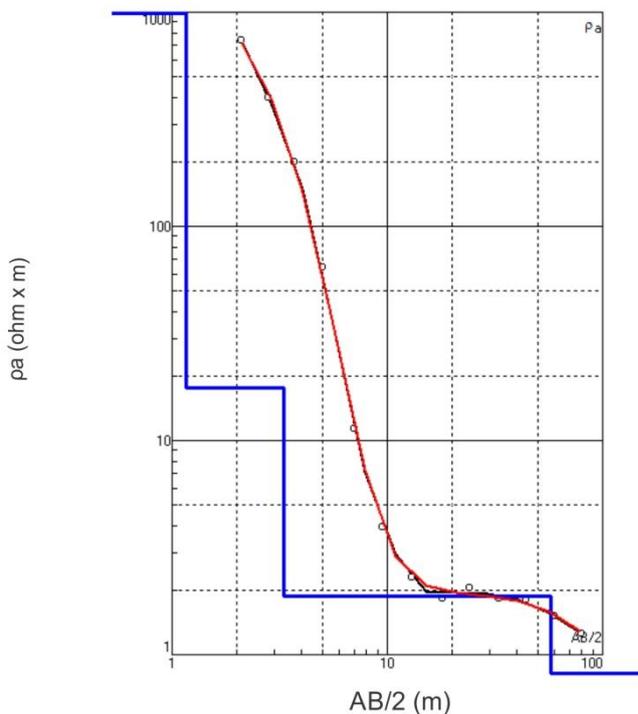


Datos de campo

SEV 8	
AB/2	ρ Aparente MEDIDA
2	259
2	208
3	130
5	45
7	35
9	31
13	28
18	26
24	25
33	20
44	11
60	7
80	5

Fuente de los datos de campo: Instituto Nacional del Agua

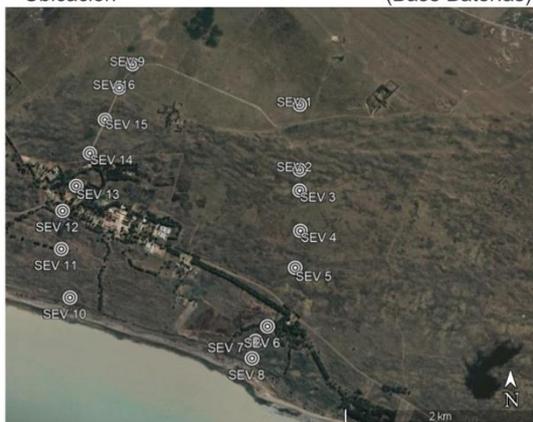
Interpretación:
Lic. Andrés G. Ruffo



N	ρ	h	d	Alt
1	1409	1.16	1.16	-1.162
2	17.5	2.13	3.29	-3.292
3	1.88	54.1	57.4	-57.43
4	0.0447			

Ubicación

(Base Baterías)

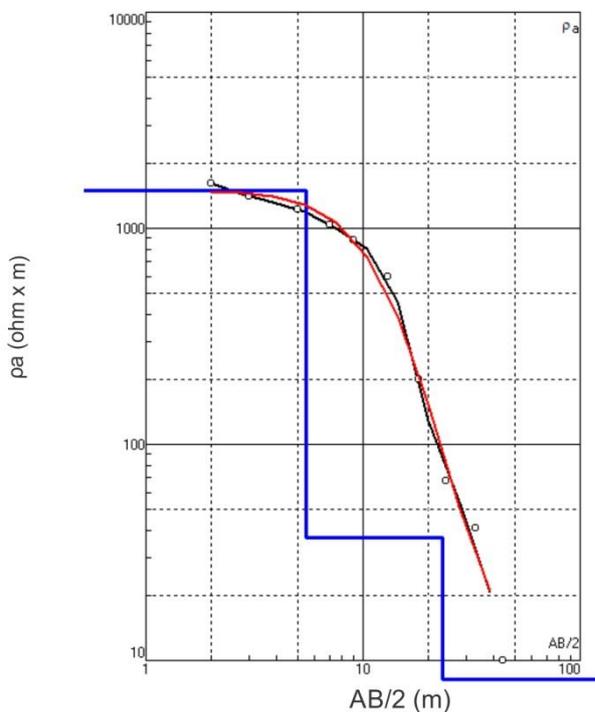


Datos de campo

SEV 9	
AB/2	ρ Aparente MEDIDA
2,1	738
2,8	401
3,7	201
5	64
7	11,35
9,5	3,93
13	2,3
18	1,84
24	2,05
33	1,83
44	1,8
60	1,51
80	1,26

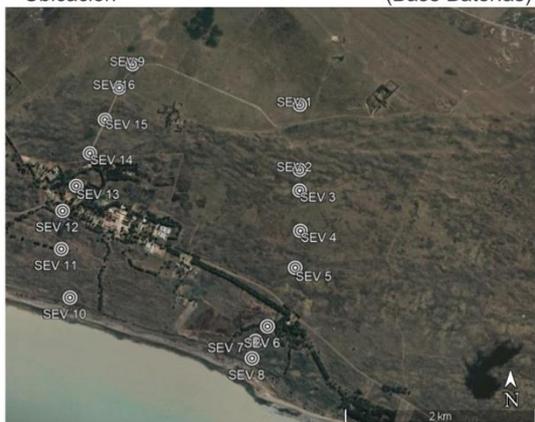
Fuente de los datos de campo: Instituto Nacional del Agua

Interpretación:
Lic. Andrés G. Ruffo



N	ρ	h	d	Alt
1	1497	5.49	5.49	-5.491
2	37.1	17.8	23.3	-23.28
3	1.93			

Ubicación (Base Baterías)

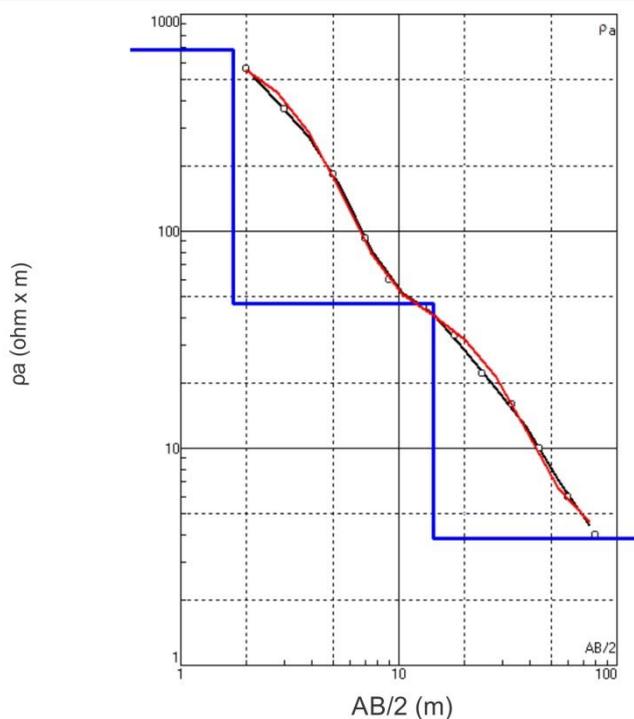


Datos de campo

SEV 10	
AB/2	ρ Aparente MEDIDA
2	2003
2	1622
3	1402
5	1230
7	1043
9	882
13	600
18	200
24	68
33	41
44	10

Fuente de los datos de campo: Instituto Nacional del Agua

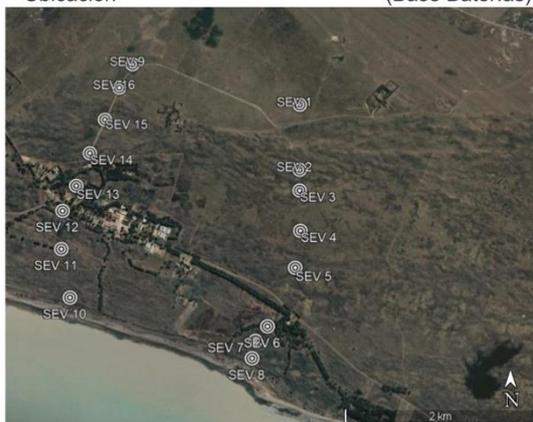
Interpretación:
Lic. Andrés G. Ruffo



N	ρ	h	d	Alt
1	686	1.74	1.74	-1.74
2	46.4	12.7	14.4	-14.4
3	3.84			

Ubicación

(Base Baterías)

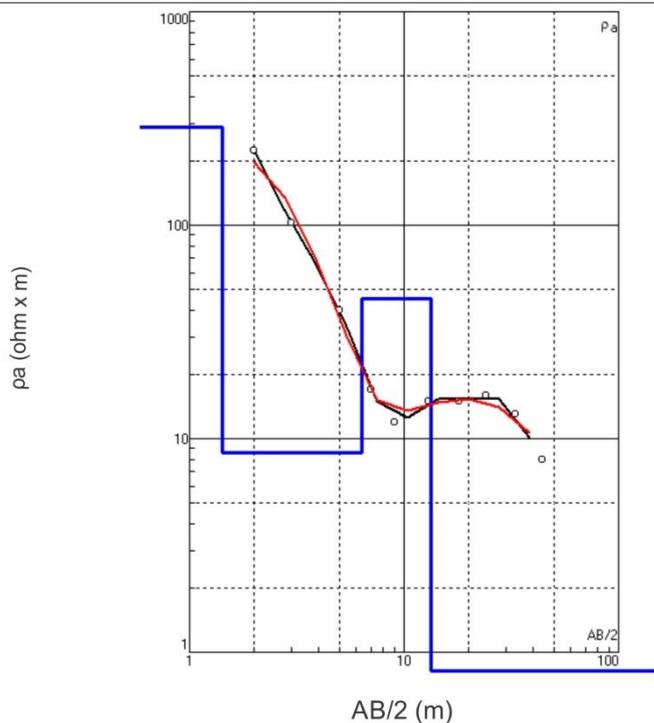


Datos de campo

SEV 11	
AB/2	ρ Aparente MEDIDA
2	838
2	560
3	365
5	184
7	93
9	60
13	45
18	33
24	22
33	16
44	10
60	6
80	4

Fuente de los datos de campo: Instituto Nacional del Agua

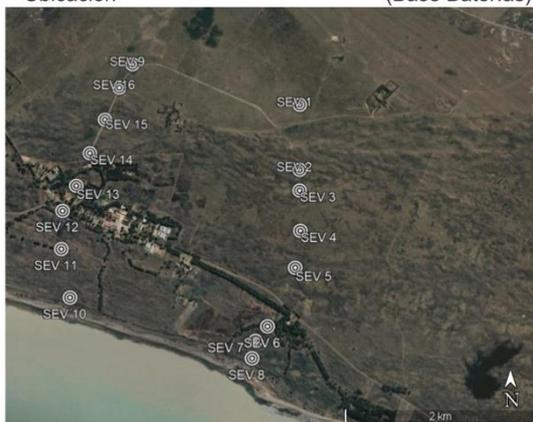
Interpretación:
Lic. Andrés G. Ruffo



N	ρ	h	d	Alt
1	287	1.42	1.42	-1.417
2	8.6	4.91	6.33	-6.325
3	45.5	7.05	13.4	-13.37
4	0.375			

Ubicación

(Base Baterías)



Datos de campo

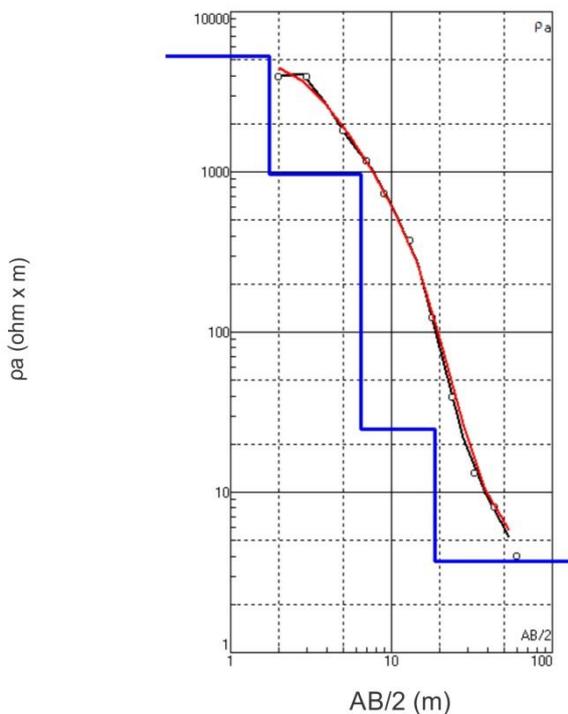
SEV 12	
AB/2	ρ Aparente MEDIDA
2	378
2	224
3	103
5	40
7	17
9	12
13	15
18	15
24	16
33	13
44	8

Fuente de los datos de campo: Instituto Nacional del Agua

Interpretación:
Lic. Andrés G. Ruffo



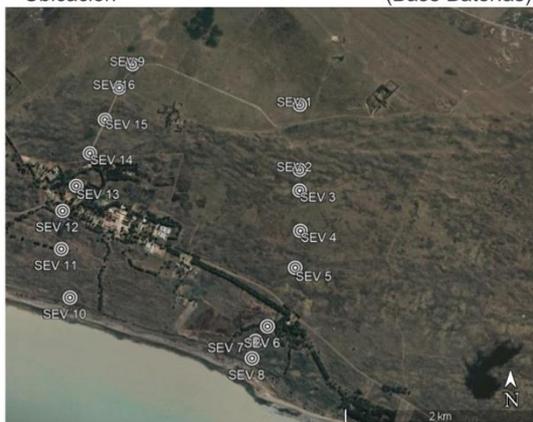
Sondeo eléctrico vertical N° 13



N	ρ	h	d	Alt
1	5280	1.75	1.75	-1.746
2	967	4.71	6.46	-6.46
3	24.8	12.2	18.6	-18.62
4	3.71			

Ubicación

(Base Baterías)

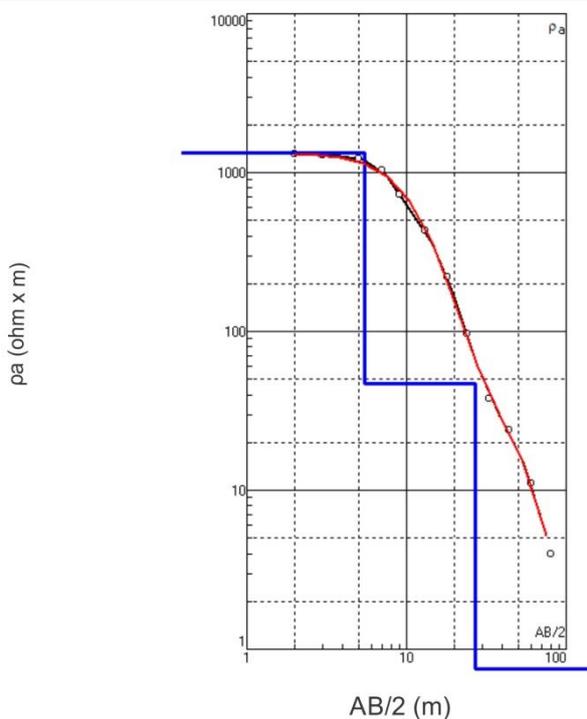


Datos de campo

SEV 13	
AB/2	ρ Aparente MEDIDA
2	2510
2	3931
3	3900
5	1787
7	1167
9	729
13	370
18	122
24	39
33	13
44	8
60	4

Fuente de los datos de campo: Instituto Nacional del Agua

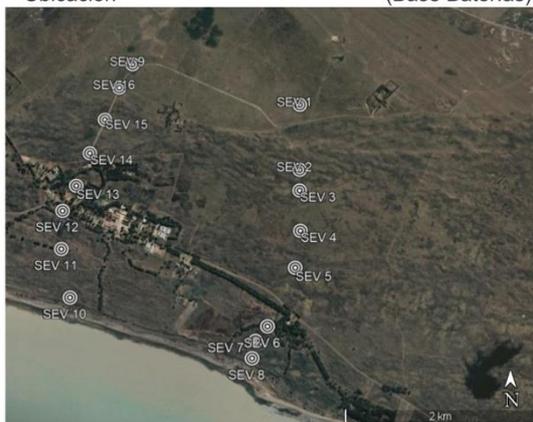
Interpretación:
Lic. Andrés G. Ruffo



N	ρ	h	d	Alt
1	1328	5.51	5.51	-5.506
2	46.8	21.3	26.8	-26.83
3	0.0403			

Ubicación

(Base Baterías)

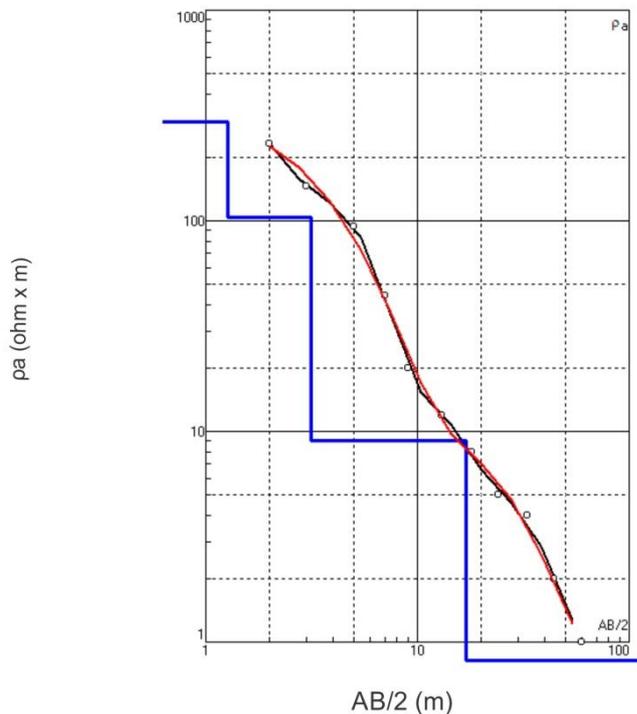


Datos de campo

SEV 14	
AB/2	ρ Aparente MEDIDA
2	1427
2	1316
3	1285
5	1233
7	1031
9	725
13	430
18	221
24	96
33	38
44	24
60	11
80	4

Fuente de los datos de campo: Instituto Nacional del Agua

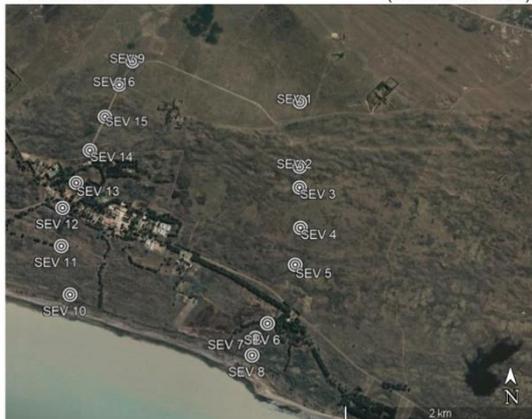
Interpretación:
Lic. Andrés G. Ruffo



N	ρ	h	d	Alt
1	293	1.27	1.27	-1.27
2	104	1.87	3.14	-3.142
3	9.02	13.8	17	-16.99
4	0.504			

Ubicación

(Base Baterías)

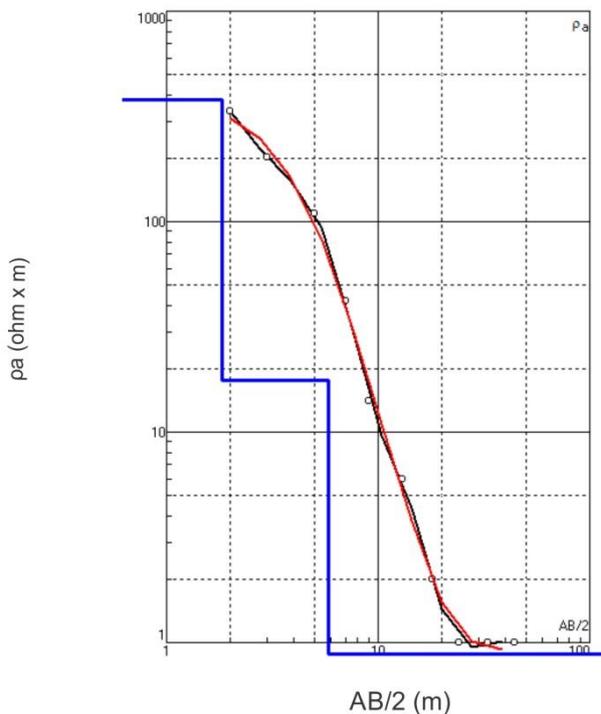


Datos de campo

SEV 15	
AB/2	ρ Aparente MEDIDA
2	358
2	232
3	146
5	94
7	44
9	20
13	12
18	8
24	5
33	4
44	2
60	1

Fuente de los datos de campo: Instituto Nacional del Agua

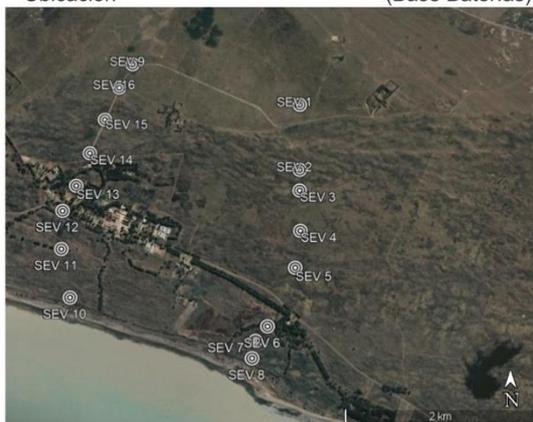
Interpretación:
Lic. Andrés G. Ruffo



N	ρ	h	d	Alt
1	377	1.84	1.84	-1.841
2	17.5	3.97	5.81	-5.808
3	0.885			

Ubicación

(Base Baterías)

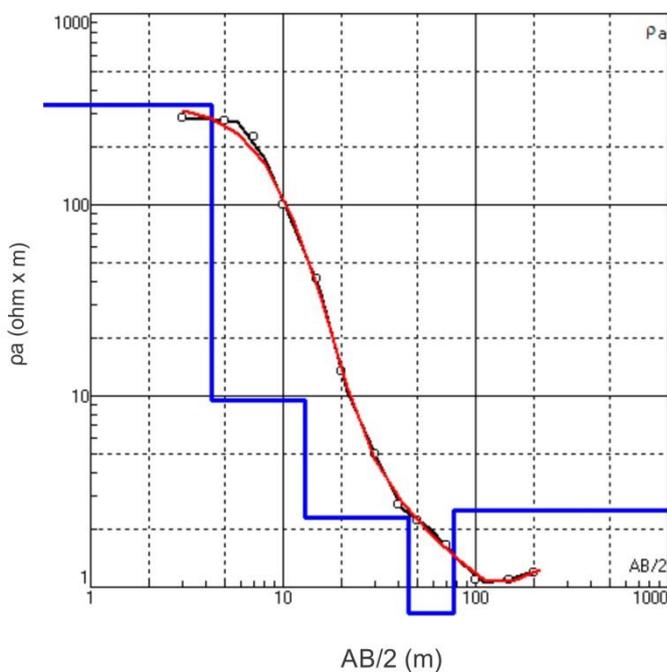


Datos de campo

SEV 16	
AB/2	ρ Aparente MEDIDA
2	516
2	333
3	203
5	109
7	42
9	14
13	6
18	2
24	1
33	1
44	1

Fuente de los datos de campo: Instituto Nacional del Agua

Interpretación:
Lic. Andrés G. Ruffo



N	ρ	h	d	Alt
1	332	4.26	4.26	-4.258
2	9.42	8.78	13	-13.04
3	2.32	31.4	44.5	-44.46
4	0.347	32.1	76.6	-76.58
5	2.54			

Datos de campo

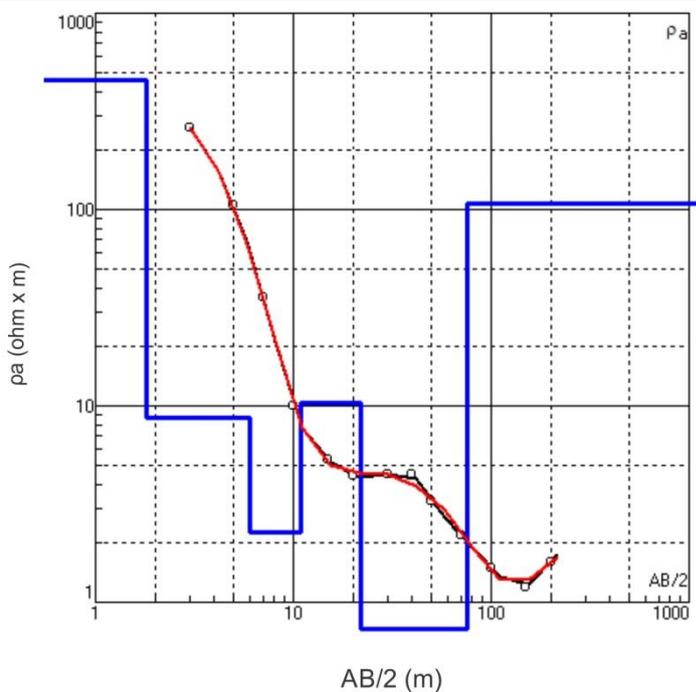
SEV 4	
AB/2	ρ Aparente MEDIDA
3	284
5	273
7	227
10	97
10	107
15	42
15	42
20	14
30	5,2
40	2,8
50	2,4
50	2,2
70	1,7
70	1,7
100	1,1
150	1,1
200	1,2

Ubicación



Fuente de los datos de campo: Instituto Nacional del Agua

Interpretación:
Lic. Andrés G. Ruffo



N	ρ	h	d	Alt
1	452	1.82	1.82	-1.816
2	8.76	4.24	6.06	-6.058
3	2.29	4.94	11	-11
4	10.4	11.1	22.1	-22.12
5	0.434	53	75.1	-75.07
6	107			

Datos de campo

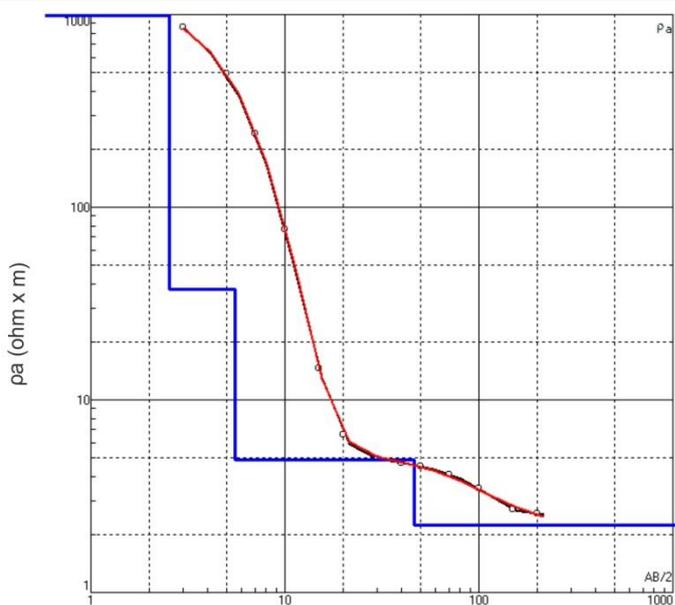
SEV 5	
AB/2	ρ Aparente MEDIDA
3	259
5	106
7	36
10	12
10	8,3
15	53
15	53
20	4,4
30	4,5
40	4,5
50	3,8
50	2,8
70	2,2
70	2,2
100	1,5
150	1,2
200	1,6

Ubicación



Fuente de los datos de campo: Instituto Nacional del Agua

Interpretación:
Lic. Andrés G. Ruffo



AB/2 (m)

N	ρ	h	d	Alt
1	1078	2.54	2.54	-2.537
2	37.5	3	5.54	-5.536
3	4.88	40.9	46.4	-46.42
4	2.24			

Datos de campo

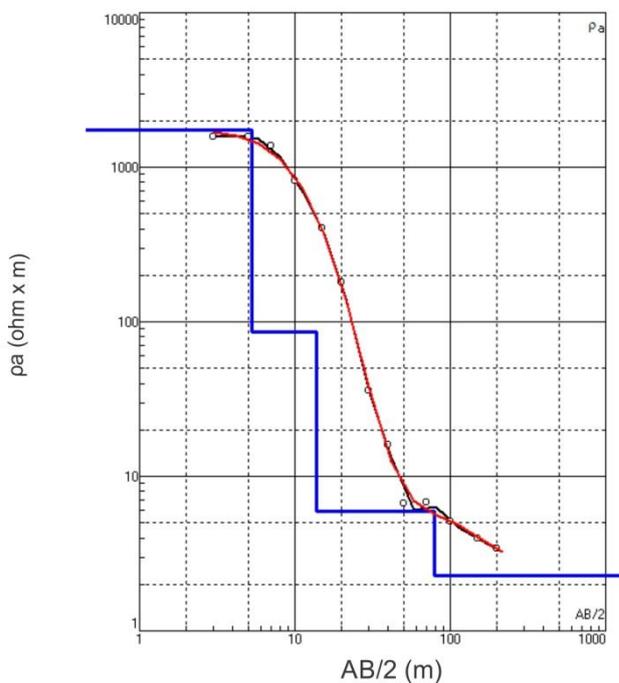
SEV 7	
AB/2	ρ Aparente MEDIDA
3	868
5	531
7	272
10	71
10	78
15	17
15	17
20	6,8
30	5,3
40	4,8
50	5,5
50	4,6
70	4,6
70	4,6
100	3,6
150	2,5
200	2,6

Ubicación



Fuente de los datos de campo: Instituto Nacional del Agua

Interpretación:
Lic. Andrés G. Ruffo



N	ρ	h	d	Alt
1	1737	5.25	5.25	-5.251
2	86.1	8.46	13.7	-13.72
3	5.96	65.8	79.5	-79.51
4	2.28			

Datos de campo

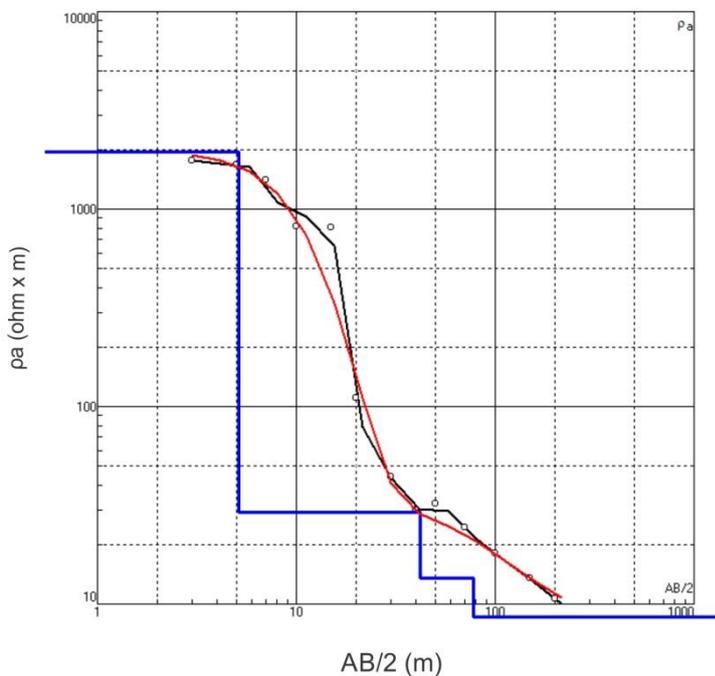
SEV 8	
AB/2	ρ Aparente MEDIDA
3	1575
5	1581
7	1370
10	822
10	820
15	403
15	403
20	180
30	36
40	16
50	6,7
50	6,7
70	6,8
70	6,8
100	5,1
150	4
200	3,4

Ubicación



Fuente de los datos de campo: Instituto Nacional del Agua

Interpretación:
Lic. Andrés G. Ruffo



N	ρ	h	d	Alt
1	1948	5.13	5.13	-5.133
2	29.1	36.8	42	-41.97
3	13.5	35.8	77.8	-77.75
4	8.6			

Datos de campo

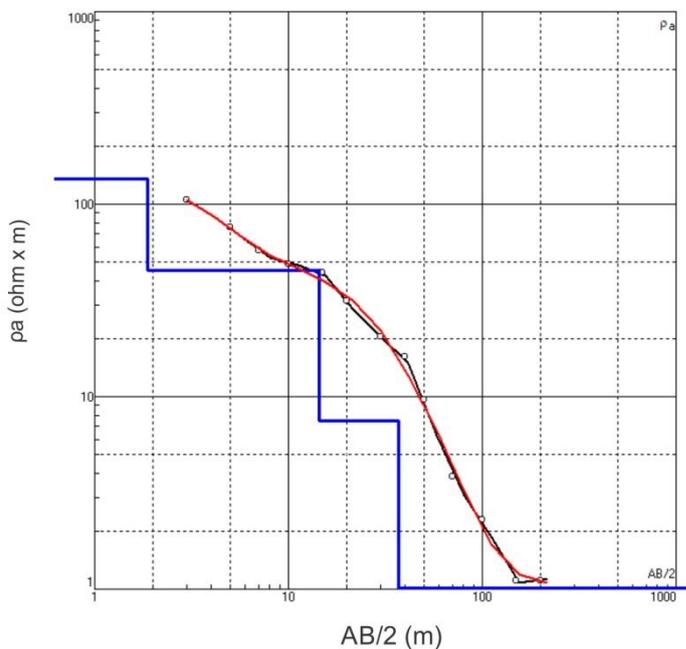
SEV 9	
AB/2	ρ Aparente MEDIDA
3	1776
5	1673
7	1408
10	820
10	817
15	810
15	810
20	111
30	44
40	30
50	34
50	27
70	23
70	23
100	16
150	12
200	9,5

Ubicación



Fuente de los datos de campo: Instituto Nacional del Agua

Interpretación:
Lic. Andrés G. Ruffo



N	ρ	h	d	Alt
1	135	1.87	1.87	-1.868
2	45.2	12.6	14.5	-14.47
3	7.46	22.7	37.2	-37.2
4	1.01			

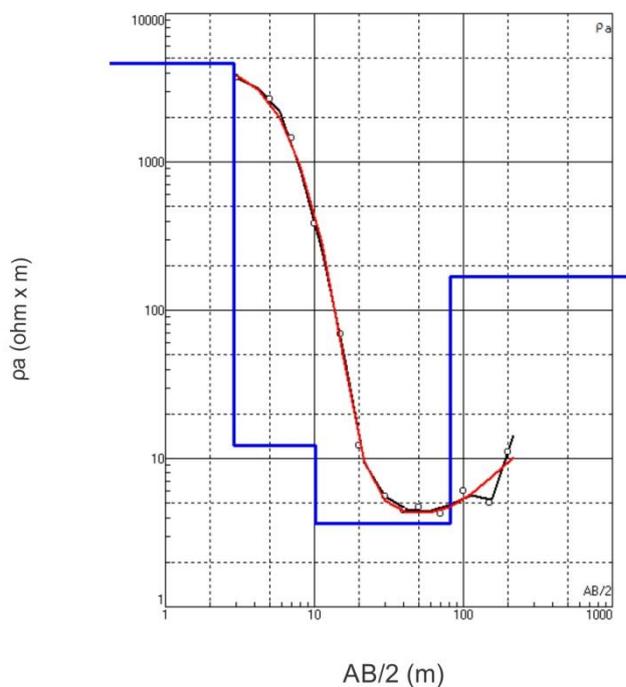
Datos de campo	
SEV 10	
AB/2	ρ Aparente MEDIDA
3	98
5	71
7	54
10	46
10	45
15	41
15	41
20	29
30	19
40	15
50	8,6
50	10
70	3,7
70	3,7
100	2,3
150	1,1
200	1,1

Ubicación



Fuente de los datos de campo: Instituto Nacional del Agua

Interpretación:
Lic. Andrés G. Ruffo



N	ρ	h	d	Alt
1	4644	2.89	2.89	-2.892
2	12.2	7.28	10.2	-10.17
3	3.67	71.9	82.1	-82.12
4	168			

Datos de campo

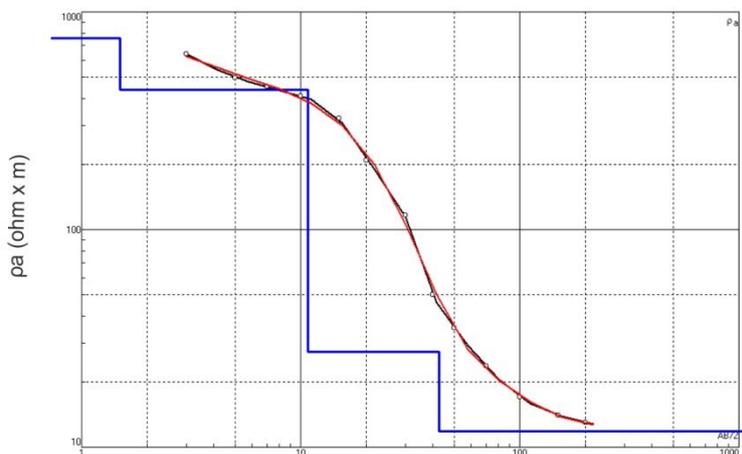
SEV 11	
AB/2	ρ Aparente MEDIDA
3	3000
5	2144
7	1155
10	290
10	359
15	59
15	59
20	11
30	5,3
40	4,4
50	4,1
50	5,4
70	4,9
70	4,9
100	6
150	5
200	11

Ubicación



Fuente de los datos de campo: Instituto Nacional del Agua

Interpretación:
Lic. Andrés G. Ruffo



AB/2 (m)

N	ρ	h	d	Alt
1	758	1.5	1.5	-1.5
2	441	9.25	10.7	-10.75
3	27.3	32	42.7	-42.72
4	11.8			

Datos de campo

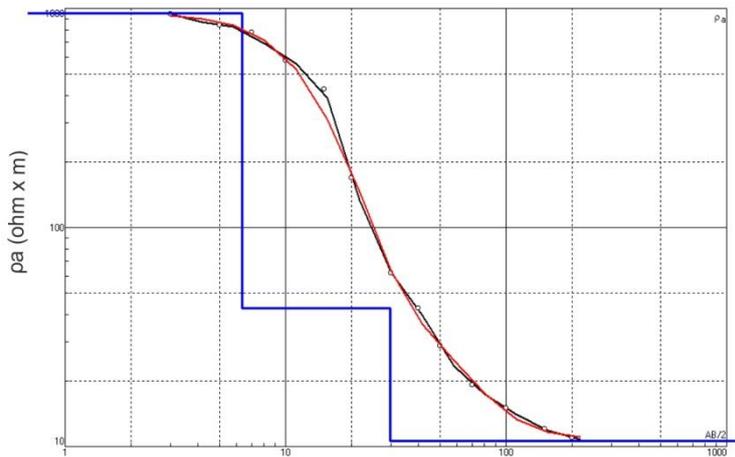
SEV 13	
AB/2	ρ Aparente MEDIDA
3	783
5	608
7	552
10	442
10	442
15	445
15	275
20	199
30	111
40	48
50	33
50	36
70	23
70	23
100	17
150	14
200	13

Ubicación



Fuente de los datos de campo: Instituto Nacional del Agua

Interpretación:
Lic. Andrés G. Ruffo



AB/2 (m)

N	ρ	h	d	Alt
1	947	6.35	6.35	-6.352
2	42.8	23.5	29.8	-29.82
3	10.6			

Datos de campo

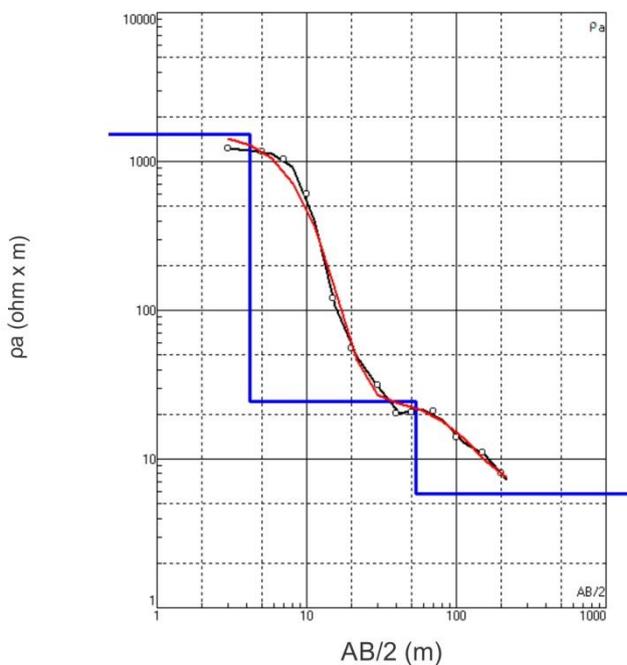
SEV 14	
AB/2	ρ Aparente MEDIDA
3	941
5	842
7	777
10	584
10	562
15	424
15	424
20	166
30	61
40	42
50	28
50	29
70	19
70	19
100	15
150	12
200	11

Ubicación



Fuente de los datos de campo: Instituto Nacional del Agua

Interpretación:
Lic. Andrés G. Ruffo



N	ρ	h	d	Alt
1	1511	4.2	4.2	-4.196
2	24.3	49.4	53.6	-53.62
3	5.8			

Datos de campo

SEV 16	
AB/2	ρ Aparente MEDIDA
3	1143
5	1096
7	972
10	639
10	390
15	100
15	100
20	41
30	23
40	15
50	13
50	24
70	18
70	18
100	14
150	11
200	8,5

Ubicación



Fuente de los datos de campo: Instituto Nacional del Agua

Interpretación:
Lic. Andrés G. Ruffo

Ruffo A. G. "Hidrogeología de las dunas en el ambiente costero suroccidental de la provincia de Buenos Aires, Argentina."