
Tesis de Doctorado en Geología

**Hidrogeología de la cadena de médanos
continentales del sector septentrional del
partido de Villarino, en el sudoeste de la
provincia de Buenos Aires**

Matias Rey

Director: Edgardo René Albouy

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 el ámbito del Departamento de Geología durante el período comprendido entre el 25 de agosto de 2020 y el 01 de abril de 2025, bajo la dirección del Dr. Edgardo René Albouy (Profesor Titular del Dpto. de Geología de la UNS).

Lic. Matias Rey



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
Subsecretaría de Posgrado

La presente tesis ha sido aprobada el 27/06/2025
mereciendo la calificación de 10 (SOBRESALIENTE)



SAFE Martin Dario
Subsecretario de
Posgrado
03.11.2025
00:57:11

Rey, M. "Hidrogeología de la cadena de médanos continentales del sector septentrional del partido de Villarino, en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires

“La tierra tiene música para los que escuchan”.

– George Santayana

Agradecimientos

En primer lugar, a mi Director de Tesis, por su apoyo, tiempo, paciencia y dedicación a mi formación.

A toda mi familia y amigos por su invaluable ayuda y consejos otorgados a lo largo de mis años de vida.

A mis compañeros dentro de la Cátedra de Hidrogeología por su asistencia en innumerables campañas de campo y horas de gabinete.

Al CONICET, por la beca otorgada que me permitió realizar este Doctorado.

A los integrantes del Tribunal por tomarse el tiempo para leer esta tesis y por su dedicación al momento de formular preguntas y puntos de vista para este trabajo en proceso.

Por último, al Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur y todo su cuerpo docente, por haberme permitido formarme como Geólogo.

RESUMEN

Las acumulaciones medanosas constituyen excelentes acuíferos debido a sus características sedimentarias. En la zona de estudio, el mismo está conformado por una cadena de dunas, la cual es la única fuente de agua dulce para abastecer a la población local, por lo que su estudio se torna estratégico.

El objetivo principal de esta tesis es reconocer los procesos y factores que permiten la existencia del acuífero del sector, los cuales determinan la calidad y cantidad del recurso hídrico subterráneo.

Se realizaron diferentes trabajos de campo y gabinete, incluyendo búsqueda de información antecedente, análisis climáticos, censos de puntos de agua, estudios geoelectricos, determinación de sus parámetros hidráulicos e hidrodinámica, análisis hidrogeoquímicos, cálculos de recarga, cuantificación de recurso y reservas hídricas subterráneas, vulnerabilidad a la contaminación y tipificación de humedales.

El acuífero libre del cordón de dunas, enmarcado regionalmente en la llanura bonaerense, comprende la cadena de médanos continentales que se extiende en dirección noroeste-sudeste, desde el estuario de Bahía Blanca, al sudeste, hasta la laguna Chasicó y el arroyo homónimo al noroeste. Hacia el noreste limita parcialmente con el salitral de la Vidriera y hacia el suroeste con las Salinas Chicas.

Las arenas eólicas que lo conforman son en términos generales finas a medias, compuestas principalmente por plagioclasa y cuarzo. Mediante geoelectrica, se determinó un espesor acuífero promedio de 4 metros, con los mayores valores en general sobre la parte central del cordón de dunas, disminuyendo levemente hacia los bordes del mismo. Adicionalmente, se constató la presencia de paleocauces en sectores puntuales, donde este se incrementa de manera notable.

Se determinó un coeficiente de almacenamiento de 0,2, una conductividad hidráulica de 17 m/d y una transmisividad entre 32,5 y 115 m²/d. El agua subterránea sigue a grandes rasgos la inclinación del terreno, con flujos radiales superpuestos de descarga en las áreas interduna condicionados por la morfología local, dando lugar a la existencia de humedales. Se reconoció un fenómeno de estratificación hidroquímica, con una lente de agua de baja salinidad, que descansa sobre una más salobre y extensa. La profundidad del nivel freático en el 90% del área no supera los 8 metros, reconociéndose una oscilación máxima del mismo de 80 centímetros, producto de variaciones estacionales. La vulnerabilidad del acuífero a la contaminación es en general alta, debido al bajo espesor de la zona no saturada.

La conductividad eléctrica promedio es de 1890 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un patrón hidroquímico dominante de tipo bicarbonatado sódico y clorurado sódico. Aquellas aguas de mejor calidad se ubican en zonas de recarga preferencial.

Dicha recarga, producto de los excesos hídricos por las lluvias, se cifró en un valor promedio de un 30% de la precipitación media anual. El recurso hídrico potencial se calculó en 75,44 $\text{Hm}^3/\text{año}$, mientras que las reservas calculadas ascienden a 344 Hm^3 .

La información generada en esta tesis se considera de interés para la sociedad, sirviendo de apoyo a los tomadores de decisiones en el sector y así poder alcanzar una explotación racional y sustentable a lo largo del tiempo del recurso hídrico subterráneo.

Palabras clave: *agua subterránea, cadena de médanos, Villarino, hidrogeología.*

ABSTRACT

The sandy accumulations constitute excellent aquifers due to their sedimentary characteristics. In the study area, it is constituted by a chain of dunes, which is the only source of fresh water to supply the local population, so its study becomes strategic.

The main objective of this thesis is to recognize the processes and factors that allow for the existence of the aquifer in the sector, which determine the quality and quantity of the groundwater resource.

Different field and office works were carried out, including the search for background information, climatic analysis, water point censuses, geoelectric studies, determination of hydraulic and hydrodynamic parameters, hydrogeochemical analysis, recharge calculations, quantification of groundwater resources and reserves, vulnerability to contamination and wetland typification.

The phreatic aquifer of the dune chain, regionally framed in the Buenos Aires plain, comprises the chain of continental dunes that extends in a northwest-southeast direction, from the Bahía Blanca estuary to the southeast to the Chasicó lagoon and the homonymous stream to the northwest. To the northeast it is partially bordered by the Salitral de la Vidriera and to the southwest by the Salinas Chicas.

The eolian sands that conform it are generally fine to medium, composed mainly of plagioclase and quartz. By means of geoelectric studies, an average aquifer thickness of 4 meters was

determined, with the highest values in general over the central part of the dune ridge, decreasing slightly towards its edges. In addition, the presence of paleochannels was observed in specific sectors, where the aquifer thickness increases significantly.

A storage coefficient of 0.2, a hydraulic conductivity of 17 m/d and a transmissivity between 32.5 and 115 m²/d were determined. Groundwater broadly follows the slope of the terrain, with superimposed radial discharge flows in the interdune areas conditioned by the local morphology, giving rise to the existence of wetlands. A phenomenon of hydrochemical stratification was recognized, with a low salinity water lens resting on a more extensive brackish one. The depth of the water table in 90% of the area does not exceed 8 meters, with a maximum oscillation of 80 centimeters, due to seasonal variations. The aquifer's vulnerability to contamination is generally high, due to the low thickness of the unsaturated zone.

The average electrical conductivity is 1890 $\mu\text{S}/\text{cm}$, with a dominant sodium bicarbonate and sodium chloride hydrochemical pattern. The best quality waters are located in preferential recharge zones.

This recharge, resulting from excess rainfall, was estimated at an average value of 30% of the average annual precipitation. The potential water resource was calculated at 75.44 Hm³/year, while the calculated reserves amount to 344 Hm³.

The information generated in this thesis is considered to be of interest to society, serving as support for decision makers in the sector in order to achieve a rational and sustainable exploitation of groundwater resources over time.

Key words: *groundwater, dune chains, Villarino, hydrogeology.*

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS Y ESTRUCTURA	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 OBJETIVOS	4
1.3 ESTRUCTURA DE LA TESIS	4
CAPITULO 2: METODOLOGÍA.....	7
2.1 RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.2 INTEGRACIÓN DE DATOS A SIG Y MAPA TOPOGRÁFICO BASE	7
2.3 RECOPIACIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS METEOROLÓGICOS.....	11
2.4 MEDICIONES DE NIVEL FREÁTICO Y MUESTREO HIDROQUÍMICO	12
2.4.1 REGISTRADOR CONTINUO (DATA LOGGER)	15
2.5 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE MUESTRAS DE SEDIMENTO	16
2.6 ESTUDIOS GEOELÉCTRICOS	17
2.6.1 SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES (SEV).....	18
2.6.2 TOMOGRAFÍAS DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA (TRE)	19
2.7 MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LA RECARGA.....	21
2.7.1 BALANCE HÍDRICO	22
2.7.2 BALANCE DE MASAS DEL IÓN CLORURO	23
2.8 VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN	25
2.8.1 ELABORACIÓN DE MAPAS DE VULNERABILIDAD	25
CAPÍTULO 3: ÁREA DE ESTUDIO.....	27
3.1 UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES	27
3.2 RESEÑA HISTÓRICA DEL PARTIDO DE VILLARINO	28
3.3 EVOLUCIÓN DEL CONOCIMIENTO DEL SISTEMA ACUÍFERO	30
3.4 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA	31
3.4.1 PRECIPITACIONES	32
3.4.2 TEMPERATURA	39
3.4.3 HUMEDAD RELATIVA	41
3.4.4 VIENTOS.....	42
3.4.5 EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	43
3.4.5.1 CÁLCULO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL	44
3.4.5.2 CÁLCULO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL	49
CAPÍTULO 4: MEDIO FÍSICO.....	52
4.1 GEOLOGÍA	52
4.1.2 ESTRATIGRAFÍA.....	53
4.1.3 EVOLUCIÓN TECTÓNICA Y ESTRUCTURAL.....	64

4.2 GEOMORFOLOGÍA	67
4.3 SUELOS.....	71
4.4 HIDROGEOLOGÍA.....	75
CAPÍTULO 5: ESTUDIOS GEOELÉCTRICOS	82
5.1 PARAMETRIZACIÓN DE DATOS	82
5.2 IMÁGENES DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA	87
5.3 GEOMETRÍA DEL ACUÍFERO LIBRE DEL CORDÓN DE DUNAS	92
CAPÍTULO 6: HIDRÁULICA E HIDRODINÁMICA.....	96
6.1 ENSAYOS DE BOMBEO ANTECEDENTES Y PARÁMETROS HIDRÁULICOS	96
6.2 HIDRODINÁMICA.....	98
6.2.1 INTRODUCCIÓN	98
6.2.2 FLUJO SUBTERRÁNEO.....	100
6.2.3 VARIACIONES DEL NIVEL FREÁTICO.....	109
CAPÍTULO 7: HIDROGEOQUÍMICA	112
7.1 CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA.....	112
7.1.1 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL AGUA DE LLUVIA	113
7.1.2 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL AGUA FREÁTICA	116
7.1.2.1 CORRELACIÓN CON DATOS ANTECEDENTES.....	137
7.1.2.2 APTITUD DEL AGUA PARA DISTINTOS USOS	138
7.1.2.3 ESTRATIFICACIÓN HIDROQUÍMICA	146
CAPÍTULO 8: RECARGA, RESERVA Y RECURSO.....	148
8.1 ESTIMACIÓN DE LA RECARGA	148
8.1.1 BALANCE HÍDRICO	149
8.1.2 BALANCE DE MASAS DEL IÓN CLORURO	152
8.1.3 ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE OSCILACIONES DEL NIVEL FREÁTICO	153
8.1.4 RESULTADOS: ANÁLISIS Y CONCLUSIONES	153
8.2 RESERVA.....	154
8.3 RECURSO	156
8.4 DEMANDA ANTRÓPICA.....	157
8.4.1 EXPLOTACIÓN DEL ACUÍFERO MEDIANTE CAMPOS DE BOMBEO.....	157
CAPÍTULO 9: VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO A LA CONTAMINACIÓN.....	163
9.1 INTRODUCCIÓN	163
9.2 RESULTADOS OBTENIDOS	163
9.2.1 MÉTODO GOD	163
9.2.2 MÉTODO DRASTIC.....	167
CAPÍTULO 10: HUMEDALES.....	171

10.1 CLASIFICACIÓN Y TIPIFICACIÓN DE LOS HUMEDALES EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	172
CAPÍTULO 11: MODELO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMIENTO Y BALANCE HÍDRICO.....	178
11.1 INTRODUCCIÓN	178
11.2 MODELO CONCEPTUAL Y BALANCE.....	180
CAPÍTULO 12: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	183
12.1 CONCLUSIONES	183
12.2 RECOMENDACIONES	187
BIBLIOGRAFÍA.....	189
ANEXOS	206
Anexo I.....	207
Anexo II	215
Anexo III	226
Anexo IV	229
Anexo V	236
Anexo VI.....	244
Anexo VII.....	256
Anexo VIII	261
Anexo IX.....	268

LISTADO DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1.1.1. Área de estudio (recuadro rojo). Partido de Villarino, provincia de Buenos Aires.

Capítulo 2

Figura 2.2.1. Integración de bandas de imágenes LANDSAT 8 del área de estudio.

Figura 2.2.2. Representación del índice NDVI realizado con bandas de imágenes LANDSAT 8 del área de estudio. Los círculos amarillos señalan puntos de medición de agua subterránea.

Figura 2.2.3. Mosaico generado a partir de las hojas topográficas de la zona de estudio.

Figura 2.2.4. Mapa topográfico base. La línea roja delimita el área de estudio propiamente dicha.

Figura 2.2.5. Modelo 3D de la cadena de médanos.

Figura 2.4.1. Sondas piezométricas utilizadas (A) y mediciones realizadas en campo con las mismas (B).

Figura 2.4.2. Planilla de censo de pozo utilizada en el campo para relevamiento de puntos de agua.

Figura 2.4.3. Sonda multiparamétrica Lutron WA-2015 para pH, temperatura, conductividad y TDS in-situ (A) y toma de mediciones en campo (B).

Figura 2.4.1.1. Freatímetro digital HOBO U20L utilizado para la medición continua de niveles.

Figura 2.4.1.2. Software utilizado para la descarga de datos del freatímetro digital.

Figura 2.5.1. Equipamiento utilizado para el tamizado de las muestras de sedimento recogidas.

Figura 2.6.1.1. Esquema de un SEV Schlumberger.

Figura 2.6.2.1. Esquema de una tomografía eléctrica con arreglo tipo Wenner.

Figura 2.6.2.2. Tomógrafo GF Instruments ARES y electrodos (A). Equipo en operación (B y C).

Figura 2.6.2.3. Pantalla principal del Software Res2Dinv. En este caso se seleccionó una opción para usar un espaciamiento de celda menor para mejorar los resultados.

Capítulo 3

Figura 3.1.1. Ubicación del área de estudio. En rojo se marca la superficie abarcada aproximada de la cadena de médanos hasta el arroyo Chasicó.

Figura 3.4.1. Izquierda: Tipos climáticos de la provincia de Buenos Aires. Tomado de DIPAC (2017), modificado de Burgos y Vidal (1951), Derecha: Clasificación climática del partido de Villarino según Thornthwaite (Sánchez et al., (1998).

Figura 3.4.1.1. Distribución de isohietas del suroeste de la provincia de Buenos Aires. El recuadro azul indica el área de estudio. Modificado de Rodríguez et al. (2018).

Figura 3.4.1.2. Análisis de doble masa entre la serie pluviométrica de Médanos e Hilario Ascasubi y Bahía Blanca. Las líneas azules indican la línea de tendencia.

Figura 3.4.1.3. Distribución anual de precipitaciones para Médanos (1972-2005), mostrando el promedio de toda la serie (línea azul) y línea de tendencia (punteada).

Figura 3.4.1.4. Análisis de la media móvil (período de 5 años) para la pluviometría de la localidad de Médanos.

Figura 3.4.1.5. Distribución de frecuencias de rangos de precipitaciones anuales para Médanos (1972-2005).

Figura 3.4.1.6. Distribución mensual de precipitaciones promedio para Argerich y Médanos.

Figura 3.4.1.7. Distribución de precipitaciones promedio mensuales, máximas y mínimas para Médanos (1972-2005).

Figura 3.4.2.1. Comparación de temperaturas promedio mensuales entre Bahía Blanca, Argerich e Hilario Ascasubi (1960-1990).

Figura 3.4.3.1. Comparación de humedad relativa promedio mensual.

Figura 3.4.4.1. Velocidad promedio mensual del viento, medida a 2 m del suelo. Estación INTA Hilario Ascasubi. Período 1966-2008.

Figura 3.4.5.1.1. Salida de CROPWAT con los datos para el área de estudio.

Figura 3.4.5.2.1. Parámetros usados en el balance de agua con respecto a los meses del año.

Capítulo 4

Figura 4.1.1. Izquierda: Provincias geológicas de la República Argentina, modificado de Caminos (1999). En el recuadro en rojo se resalta la cuenca en la que queda incluida el área de estudio. Derecha: elementos estructurales principales, modificado de Urien et al. (1981).

Figura 4.1.2.1. Esquema estratigráfico generalizado de la cuenca del Colorado (recuadro rojo). Modificado de Yrigoyen, 1999.

Figura 4.1.2.2. Histogramas y curvas acumulativas de los sedimentos de la Fm. Río Negro (modificado de Bonorino y Álvarez, 1983).

Figura 4.1.2.3. Perfil de Decauville. Los nombres formacionales son los establecidos por Fidalgo et al. (1978). Tomado de Folguera y Zárate (2009).

Figura 4.1.2.4. Cadena de médanos que aloja al acuífero freático de la zona de estudio.

Figura 4.1.2.5. Ubicación de los puntos de extracción de las muestras de sedimentos arenosos eólicos del área de estudio (señalada en rojo) e imágenes ilustrativas de las mismas: A) a simple vista y B) bajo lupa con aumento 2X.

Figura 4.1.2.6. Curvas granulométricas de las muestras de sedimento.

Figura 4.1.2.7. Histogramas de distribución de tamaño de grano de las muestras recolectadas.

Figura 4.1.3.1. Etapas de evolución tectónica de la Cuenca del Colorado. Extraído de Folguera et al. (2017), modificado de Yrigoyen (1999).

Figura 4.1.3.2. Corte estructural esquemático de la antefosa de Claromecó, mostrando la posición de la cuenca del Colorado y el basamento fallado en bloques. Tomado de Caminos (1999), modificado de Ramos (1984).

Figura 4.2.1. Clasificación de unidades geomorfológicas de González Uriarte (1984) en la zona. Tomado de DIPAC (2017).

Figura 4.2.2. Geoambientes del sudeste bonaerense. El recuadro azul indica la ubicación del cordón medanoso del área de estudio. Tomado de Rodríguez et al. (2018). Modificado de González Uriarte (2002).

Figura 4.2.3. Geoambientes del sudeste bonaerense a escala 1:250.000. El recuadro azul indica la ubicación del cordón medanoso del área de estudio. Modificado de Rodríguez et al. (2018).

Figura 4.2.4. Esquema geomorfológico del área de la Hoja Geológica 3963-II Bahía Blanca (extraído de Folguera et al., 2017).

Figura 4.2.5. Médanos del área de estudio, en un campo cercano a la Laguna Chasicó.

Figura 4.3.1. Mapa de Dominios edáficos de la provincia de Buenos Aires (SAGyP - INTA, 1989). Detalle del partido de Villarino, modificado por Rodríguez et al. (2018).

Figura 4.3.1. Mapa de Dominios edáficos de la provincia de Buenos Aires (SAGyP - INTA, 1989). Detalle del partido de Villarino, modificado por Rodríguez et al. (2018).

Figura 4.3.2. Dominio edáfico 4 y sus unidades cartográficas. Tomado de DIPAC (2017), adaptado de SAGyP-INTA (1989).

Figura 4.4.1. Regiones hidrogeológicas de la República Argentina y la Provincia de Buenos Aires (modificado de Auge, 2004). En rojo se señala el área de estudio.

Figura 4.4.2. Columna hidrogeológica. Tomado de Kruse y Zimmermann (2002).

Figura 4.4.3. Hidroestratigrafía de la Cuenca del Colorado (DYMAS, 1974). Modificado por Bonorino (1988).

Figura 4.4.4. Esquema hidroestratigráfico para el área de estudio, en las proximidades de Médanos y Argerich (Lexow y Bonorino, 2012, basado en Bonorino, 1979).

Capítulo 5

Figura 5.1.1. Ubicación de los SEVs realizados por Lexow y Bonorino (2012) en alrededores de Médanos y La Mascota, señalados con los íconos rojos. La línea roja marca el límite de la cadena de dunas.

Figura 5.1.2. Ubicación y corte en perfil de los SEVs llevados a cabo por Albouy et. al (2003). La línea roja en el mapa señala el límite del área de estudio.

Figura 5.1.3. Ubicación de las dos imágenes de resistividad eléctrica realizadas en el campo de bombeo Las Escobas utilizadas para la parametrización de los valores de resistividad.

Figura 5.1.4. Perfiles litológicos y eléctricos de diferentes pozos ubicados en el campo de bombeo utilizados como referencia para parametrizar la geoelectrónica.

Figura 5.1.5. Primera tomografía eléctrica realizada en el campo de bombeo Las Escobas.

Figura 5.1.6. Segunda tomografía eléctrica realizada en el campo de bombeo Las Escobas.

Figura 5.2.1. Mapa de ubicación de las tomografías realizadas en el área de estudio (delimitada en rojo).

Figura 5.2.2. Imagen de resistividad eléctrica realizada en la Ea. La Esmeralda.

Figura 5.2.3. Imagen de resistividad eléctrica realizada en cercanías al campo de bombeo La Mascota.

Figura 5.2.4. Imagen de resistividad eléctrica realizada unos 2 kilómetros al norte de la localidad de La Mascota.

Figura 5.2.5. Imagen de resistividad eléctrica realizada en cercanías de la entrada al campo Los Médanos.

Figura 5.2.6. Imagen de resistividad eléctrica realizada en el camino entre el campo La Tapera y Ea. Los Surgentes, al NO de la cadena de dunas. En esta IRE en particular se utilizó una escala diferente de las anteriores para las resistividades con el fin de resaltar las estructuras inferidas.

Figura 5.3.1. Ubicación de cortes geoelectrónicos/geológicos esquemáticos.

Figura 5.3.2. Perfil A-A'.

Figura 5.3.3. Perfil B-B'.

Figura 5.3.4. Perfil C-C'.

Capítulo 6

Figura 6.1.1. Ensayos de bombeo realizados por ABSA en los pozos cercanos a la localidad de La Mascota.

Figura 6.2.1.1. Tipos de captaciones en el área de estudio: molinos (izquierda) y pozos con bombas electrosumergibles (derecha).

Figura 6.2.1.2. Mapa isofreático a escala regional, modificado de CFI (1993).

Figura 6.2.1.3. Mapa topográfico y piezométrico simplificado del área de estudio.

Figura 6.2.2.1. Mapa de isopiezas de flujo regional del acuífero freático medanoso en el área de estudio. Los flujos radiales de recorrido corto no fueron representados en esta figura.

Figura 6.2.2.2. Superficie freática y líneas de dirección de flujo, generados mediante el software Surfer.

Figura 6.2.2.3. Sectores del área de estudio divididos de acuerdo a sus características piezométricas y cortes esquemáticos del acuífero psamítico de cada uno. La escala no permite apreciar los flujos locales de descarga hacia las áreas de interduna.

Figura 6.2.2.4. Inflexiones en curvas isopiezas, destaca con recuadro verde.

Figura 6.2.2.5. Mapa isopáquico de la zona no saturada del área de estudio.

Figura 6.2.3.1. Ubicación del pozo LE5, donde fueron registradas las variaciones del nivel freático.

Figura 6.2.3.2. Variaciones mensuales del nivel freático.

Figura 6.2.3.3. Variaciones diarias del nivel freático.

Capítulo 7

Figura 7.1.1. Salitral de la Vidriera (A) y Salinas Chicas (B).

Figura 7.1.1.1. Diagrama de Piper de las muestras de lluvia de Médanos y Laguna Chasicó. Los valores se expresan en % de miliequivalentes.

Figura 7.1.2.1. Ubicación espacial de las muestras analizadas. En rojo se delimita el área de estudio.

Figura 7.1.2.2. Diagrama de Piper de las muestras analizadas. Los valores se encuentran expresados en % de miliequivalentes.

Figura 7.1.2.3. Mapa de diagramas de Stiff de las muestras analizadas.

Figura 7.1.2.4. Diagrama de Schöeller-Berkaloff para las muestras de agua subterránea analizadas.

Figura 7.1.2.5. Mapa de isoconductividad eléctrica de la zona de estudio. Algunos de los puntos medidos no fueron representados debido a la proximidad entre ellos.

Figura 7.1.2.6. Comparativa entre TSD y CE en el agua subterránea del área de estudio.

Figura 7.1.2.7. Comparativa entre valores de alcalinidad y contenido de bicarbonato en las muestras del área de estudio.

Figura 7.1.2.8. Mapa de isocontenido de cloruro de la zona de estudio.

Figura 7.1.2.9. Relación entre el contenido de cloruro y la conductividad eléctrica de las muestras.

Figura 7.1.2.10. Mapa de isocontenido de sulfato de la zona de estudio.

Figura 7.1.2.11. Relación entre el contenido de sulfato y de cloruro de las muestras.

Figura 7.1.2.12. Relación entre el contenido de carbonatos y bicarbonato de las muestras en relación a su pH.

Figura 7.1.2.13. Mapa de isocontenido de bicarbonato de la zona de estudio.

Figura 7.1.2.14. Mapa de contenido de nitrato de la zona de estudio, elaborado en base a datos de Lexow y Bonorino (2012).

Figura 7.1.2.15. Mapa de isocontenido de sodio de la zona de estudio.

Figura 7.1.2.16. Relación entre el contenido de sodio y cloruro de las muestras analizadas.

Figura 7.1.2.17. Mapa de isocontenido de calcio de la zona de estudio.

Figura 7.1.2.18. Relación entre el contenido de sulfato y calcio de las muestras analizadas.

Figura 7.1.2.19. Mapa de isocontenido de potasio de la zona de estudio.

Figura 7.1.2.20. Mapa de isocontenido de magnesio de la zona de estudio.

Figura 7.1.2.21. Mapa de contenido de fluoruro de la zona de estudio.

Figura 7.1.2.22. Relación entre el contenido de fluoruro y arsénico de las muestras analizadas.

Figura 7.1.2.22. Relación entre el contenido de fluoruro y arsénico de las muestras analizadas.

Figura 7.1.2.23. Mapa de contenido de arsénico de la zona de estudio.

Figura 7.1.2.2.2.1. Ploteo de las muestras del acuífero freático en diagrama RAS vs CE.

Figura 7.1.2.2.2.2. Distribución de las muestras clasificadas por su aptitud para riego. Los colores verdes indican que son aptas de acuerdo a la metodología utilizada, mientras que las resaltadas en rojo no lo son.

Figura 7.1.2.2.3.1. Distribución de las muestras clasificadas por su aptitud para bebida animal. Los colores verdes indican que son aptas, mientras que las marcadas en rojo no lo son.

Figura 7.1.2.3.1. Corte esquemático (sin escala horizontal) donde se representa el incremento de salinidad en profundidad y los mayores espesores de agua dulce en el centro de la cadena, coincidente con los mayores espesores del cordón de dunas.

Capítulo 8

Figura 8.1.1.1. Recarga y precipitaciones anuales de acuerdo al balance de agua en el suelo.

Figura 8.2.1. Subdivisión del área de estudio en sectores para el cálculo de reservas hídricas subterráneas.

Figura 8.4.1.1. Baterías de pozos pertenecientes a ABSA. En rojo se marca el límite de la cadena de médanos.

Figura 8.4.1.2. Planta de ósmosis inversa utilizada para el tratamiento del agua del campo de bombeo La Morocha.

Figura 8.4.1.3. Ubicación de las captaciones de Las Escobas (A). Panorámica del sitio (B). Pozos del campo de bombeo (C).

Figura 8.4.1.4. Ubicación de las captaciones de La Morocha (A). Pozos del campo de bombeo (B y C).

Figura 8.4.1.5. Ubicación de las captaciones de La Mascota.

Capítulo 9

Figura 9.2.1.1. Valoración de los parámetros del índice GOD (Modificado y traducido de Foster et al., 2002).

Figura 9.2.1.2. Mapa de vulnerabilidad obtenido mediante la aplicación del método GOD en el área de estudio.

Capítulo 10

Figura 10.1.1. Subregión Lagunas Salobres de la Pampa Interior (Extraído de Blanco et al., 2017). El recuadro rojo en la parte inferior de la imagen indica el área de estudio.

Figura 10.1.2. Zona de descarga en áreas interduna. Se puede observar a simple vista el cambio de vegetación producto de esta situación. En este caso el nivel freático no aflora, aunque podría llegar a hacerlo en épocas de mayor pluviometría.

Figura 10.1.3. *Humedales temporales generados por ascenso del nivel freático luego de un episodio de tormenta.*

Figura 10.1.4. *Variación de un humedal permanente en una zona interduna a lo largo del tiempo. Se puede observar una disminución, desde su tamaño máximo en 2006, hasta 2014, para luego volver a aumentar hacia el 2019.*

Figura 10.1.5. *Costras salinas (indicadas en rojo) en ojos de agua de la zona de estudio productos de la evaporación de los mismos.*

Figura 10.1.6. *Modelo conceptual de funcionamiento de humedales de interduna y tipificación de los mismos.*

Capítulo 11

Figura 11.1.1. *Block diagrama esquemático (sin escala) del modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico del área de estudio.*

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS Y ESTRUCTURA

1.1 INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso finito e indispensable para la salud y el desarrollo humanos, hasta tal punto que el 28 de julio de 2010, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoce explícitamente mediante la Resolución 64/292, el derecho humano al agua y al saneamiento. Esta Resolución exhorta a los Estados y Organizaciones Internacionales a que proporcionen recursos financieros y propicien el aumento de la capacidad y la transferencia de tecnología por medio de la asistencia y la cooperación internacionales, particularmente a los países en desarrollo, a fin de intensificar los esfuerzos por proporcionar a toda la población un acceso económico al agua potable y el saneamiento (ONU, 2010).

El uso del agua se ha multiplicado por 6 en los últimos 100 años (Wada *et al.*, 2016), mientras que la demanda mundial continúa aumentando a un ritmo del 1% anual y se estima que seguirá creciendo de manera significativa en las dos próximas décadas (WWAP/ONU, 2018). Según datos de UNICEF y la Organización Mundial de la Salud (OMS) en su informe "Progresos en materia de agua potable, saneamiento e higiene: informe de actualización de 2017 y evaluación de los ODS", alrededor de 2200 millones de personas en todo el mundo no cuentan con servicios de agua potable gestionados de manera segura, es decir: beber agua de fuentes ubicadas in situ, libre de contaminación y disponible cuando sea necesario.

En lo que respecta a su distribución natural, alrededor del 3,5% de toda el agua existente en el planeta es agua dulce, sin embargo, la mayoría se encuentra inaccesible, formando parte de los casquetes polares y glaciares. Apenas el 1,69 % del volumen total en el mundo se encuentra en forma de agua subterránea, mientras que el agua superficial (ríos y lagos de agua dulce) contabiliza menos del 0,01% (FCIHS, 2009). Esto no hace más que poner de manifiesto la importancia de estudiar y proteger este escaso recurso mediante investigaciones y prácticas adecuadas, más aún si se tiene en cuenta el constante incremento en la demanda debido al crecimiento de la población mundial y las actividades relacionadas con ella, principalmente industria, agricultura y ganadería (Figura 1.1.1), provocando una disminución en las reservas de agua y deteriorando su calidad. La demanda mundial se ha estimado entre 5500 y 6000 km³/año para el 2050 (Burek *et al.*, 2016).

Tabla 1.1.1. *Uso del agua en el mundo (Tomado de Auge, 2004).*

	Consumo total	Agricultura		Industria		Agua potable	
año	km³/a	km³/a	%	km³/a	%	km³/a	%
1900	400	350	87,5	30	7,5	20	5
1950	1.100	820	74,5	220	20	60	5,5
1975	3.000	2.200	73	650	22	150	5
2000	5.000	3.400	68	1.250	25	350	7

En las últimas décadas se está produciendo una clara toma de conciencia de su importancia intrínseca, de su esencial papel en el ciclo hidrológico y de su interés social y económico, tanto en los países desarrollados como en aquellos en vías de desarrollo (Custodio, 1997a). Un ejemplo de la importancia que en los últimos tiempos se concede a las aguas subterráneas es la notable proporción de programas de investigación sobre temas en directa relación con ellas, como lo son el Programa Hidrológico Internacional (PHI) para 1975 que patrocinaran las Naciones Unidas a través de UNESCO, el cual es, en realidad, la continuación de otro programa internacional: el Decenio Hidrológico Internacional (DHI), que concluyó en 1974. Más recientemente, la Asamblea General de la ONU ha adoptado la "Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible", la cual incluye al agua y saneamiento dentro de sus objetivos. En la República Argentina, en 2016, se publica el Plan Nacional del Agua (PNA), en el cual se plantean objetivos, políticas, estrategias y acciones específicas, a mediano y largo plazo, para la preservación de los recursos hídricos (ríos y acuíferos) y del ambiente, la sustentabilidad de la infraestructura y la participación de la población.

A pesar de esto, en Sudamérica, según Bocanegra *et al.* (2010), se presentan algunas situaciones comunes, como lo son la explotación intensiva, falta de estudios de caracterización que apoyen la planificación y gestión de los recursos, falta de redes de observación y la necesidad de crear una conciencia sobre la cuestión en la sociedad y su implicancia en la planificación del recurso y en los programas de actuaciones de gestión, situación que se verifica en la Argentina.

En nuestro país más del 70% de la superficie posee climas áridos o semiáridos, con solo dos regiones con abundante agua superficial potabilizable: la Mesopotamia y la Cordillera Patagónica (Auge, 2004), con aproximadamente un 50% de la población que se abastece con agua subterránea, por lo que cobra vital importancia como recurso estratégico en nuestro territorio. En la provincia de Buenos Aires, amplios sectores de la población no tienen acceso de manera segura. Mientras una parte lo hace a través de los sistemas centralizados de redes, otra

accede, mayormente, por medio de estrategias individuales y mercados desregulados, lo cual atenta contra la salud de la población y el recurso hídrico (Cáceres, 2010).

El cordón medanoso continental del sudoeste de la provincia de Buenos Aires, área de estudio para esta tesis (Figura 1.1.2), resulta de particular importancia e interés, ya que es la única fuente natural de agua dulce para el abastecimiento de agua en la zona, tanto para la población como para la agricultura y ganadería, las principales actividades económicas del lugar.

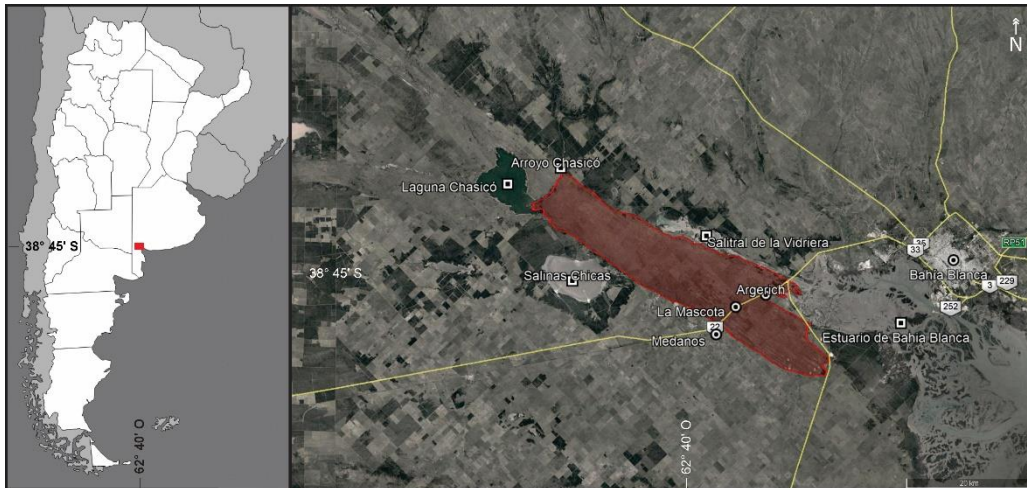


Figura 1.1.1. Área de estudio (recuadro rojo). Partido de Villarino, provincia de Buenos Aires.

Las acumulaciones arenosas crean condiciones favorables para la infiltración del agua de lluvia, fuertemente condicionada por el marco climático y sus propiedades hidráulicas permiten una explotación con rendimientos superiores a los obtenidos en otros ámbitos. Estas cualidades dan lugar a su selección como los sitios preferenciales para la ubicación de obras de captación. Sin embargo, dichos medios son sensibles al régimen de explotación y cuando éste es inadecuado, se produce un marcado deterioro cuantitativo y cualitativo del recurso (Mariño y Schulz, 2008).

Debido a esta situación, es necesaria una adecuada gestión y planificación del mismo, con una explotación racional, teniendo como objetivo obtener de los acuíferos las cantidades de agua necesarias, con la adecuada calidad, adaptadas a las circunstancias de espacio y tiempo, y respetando los condicionantes medioambientales. Esta explotación racional tiene una base eminentemente técnica pero también influyen decisivamente consideraciones económicas, sociales, culturales y políticas, además de las medioambientales. La explotación racional requiere conocer el funcionamiento de los sistemas acuíferos y los cambios cuantitativos y cualitativos resultantes de las diferentes posibilidades de explotación, tanto a nivel general como del sistema particular que se considere (Custodio, 1997a).

El conocimiento de los procesos naturales y antrópicos que tienen lugar en el acuífero, tanto químicos como físicos, su evaluación cualitativa y cuantitativa, sus relaciones y su dinámica, son esenciales para alcanzar la explotación racional antes mencionada, situación que llevó a la elección de la temática y el área de esta tesis doctoral.

1.2 OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo es actualizar y ampliar el conocimiento del sistema acuífero en el cordón medanoso continental septentrional del partido de Villarino, sudoeste de la provincia de Buenos Aires. Las acumulaciones arenosas allí presentes constituyen los únicos almacenes de agua dulce para suministro rural y de los asentamientos urbanos del área, por lo que el estudio y definición del modelo hidrológico conceptual de funcionamiento del acuífero libre de estas dunas, es la base para plantear una explotación racional y asegurar su sustentabilidad espacio-temporal, en términos de cantidad y calidad. En base a esto se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Estudiar las características hidrodinámicas e hidroquímicas del flujo local natural en los médanos.
- Evaluar el ingreso de agua al acuífero por agua de lluvia (recarga), caracterizar y cuantificar recursos y reservas hídricas subterráneas.
- Estudiar el estado actual del agua subterránea en los lugares con impacto de la actividad antrópica.
- Reconocer los factores que determinan las posibilidades de aprovechamiento del agua en el ambiente medanoso.
- Obtener una comprensión adecuada del modelo conceptual de funcionamiento hidrológico del acuífero, a fin de proyectar posibles escenarios de explotación a futuro y planear respuestas acordes para su correcta gestión.

1.3 ESTRUCTURA DE LA TESIS

Para el ordenamiento de los contenidos y conceptos de esta tesis de una manera clara y ordenada se planteó la estructuración de la misma en 12 Capítulos, separados de acuerdo a los temas y criterios tratados oportunamente.

En el capítulo 1 se realiza una introducción al tema de tesis, la motivación del estudio, los objetivos específicos de este trabajo y el ordenamiento interno o estructura que se detalla a continuación.

En el segundo capítulo se da la explicación básica de la metodología utilizada mediante la cual los objetivos antes mencionados se llevaron a cabo.

En el capítulo 3 se realiza una descripción del área de estudio: su ubicación, características generales, una breve reseña histórica y se hace referencia al estado de conocimiento del acuífero, haciendo mención a los estudios previos realizados por diferentes autores en el área y sus alrededores, con una breve descripción de los mismos. Finalmente, se presenta la caracterización climática de la zona.

En el cuarto capítulo se lleva a cabo la descripción del medio físico: su geología, estratigrafía, evolución estructural, geomorfología, suelos e hidrogeología.

En el capítulo 5 se lleva a cabo el análisis de los estudios geoelectrónicos realizados: la parametrización de los datos y las imágenes de resistividad eléctrica obtenidas durante este trabajo. Finalmente, se define la geometría del acuífero libre contenido en el cordón de dunas.

En el sexto capítulo se trata la hidráulica e hidrodinámica, determinando los parámetros hidráulicos del acuífero, diferentes características del flujo subterráneo y llevando a cabo el análisis de las oscilaciones del nivel freático en el área de estudio.

En el capítulo 7 se aborda la hidroquímica del sistema acuífero, como así también un análisis de la evolución fisicoquímica del agua en el mismo, tratando en ambos casos de diferenciar influencias naturales y antrópicas. Se presenta la caracterización del agua de lluvia de la zona y del acuífero, usando tanto información bibliográfica y estudios previos como datos propios obtenidos mediante las diferentes tareas realizadas. Por último, se determina la aptitud del agua subterránea para distintos usos, dando a conocer el marco legal y encuadre normativo respecto a la calidad de la misma y su regulación a las prestadoras de servicio de provisión de agua potable.

En el octavo capítulo se trata en detalle la cuantificación de la recarga del acuífero, así como del recurso y la reserva. Se discuten mediciones previas y se aplican varios métodos para la estimación de la recarga: se realiza el balance hídrico de paso diario y el cálculo según balance de masas del ión cloruro. Finalmente se lleva a cabo un cálculo de la demanda antrópica de agua y el análisis de la explotación llevada a cabo mediante tres campos de bombeo de Aguas Bonaerenses S.A. (ABSA), operadora que presta servicios de captación, potabilización, transporte y distribución de la misma en la zona.

En el capítulo 9 se determina la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, dando una valoración cualitativa y cuantitativa mediante la aplicación de los métodos GOD y DRASTIC, e identificando las áreas más vulnerables a la misma.

En el décimo capítulo se lleva a cabo una clasificación, tipificación y descripción de los humedales presentes en el área de estudio. Como base para esto se consideran los factores hidrológicos dominantes: modo de alimentación, modo de vaciado, el hidroperíodo, la tasa de renovación, su hidrodinámica e hidroquímica.

En el capítulo 11 se analiza y discute el modelo de funcionamiento hidrogeológico conceptual del área de estudio obtenido a partir de la integración de los datos y análisis llevados a cabo en los capítulos anteriores.

Finalmente, en el doceavo capítulo, se definen las conclusiones obtenidas a partir de la realización de la presente tesis, tratando también una serie de recomendaciones surgidas a partir del estudio.

Se presenta además al final del documento la lista de bibliografía utilizada y los anexos en los cuales se presentan diferentes mapas, tablas y análisis llevados a cabo, a los cuales se hará referencia oportunamente.

CAPITULO 2: METODOLOGÍA

2.1 RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Numerosas fuentes bibliográficas y trabajos antecedentes fueron consultados para utilizar como conocimiento de base en los diferentes temas tratados y desarrollados a lo largo de esta tesis. Se recopiló información de publicaciones y libros de carácter nacional e internacional en lo referente a temas como geología, hidrogeología, geomorfología y suelos y las diferentes metodologías aplicadas que son detallados oportunamente a lo largo del desarrollo de este estudio.

La información previa reunida sirvió de base para el desarrollo de la temática de estudio y alcanzar los objetivos de esta tesis.

2.2 INTEGRACIÓN DE DATOS A SIG Y MAPA TOPOGRÁFICO BASE

Para la integración de los datos en este trabajo se utilizó en primer lugar el software Google Earth para el mapeo preliminar y reconocimiento del área de estudio y diferentes puntos de interés (localidades, geoformas, captaciones preexistentes, arroyos, salinas, rutas y caminos, etc). Posteriormente estos elementos fueron exportados al software QGIS para su tratamiento, utilizando para todas las capas el sistema de referencia de coordenadas WGS84.

Mediante el uso de imágenes LANDSAT 8 descargadas de fuentes online de la NASA (Earthdata) del 04-03-2020, se realizó la integración de las bandas en una misma imagen (Figura 2.2.1) con el fin de llevar a cabo diferentes combinaciones de las mismas.

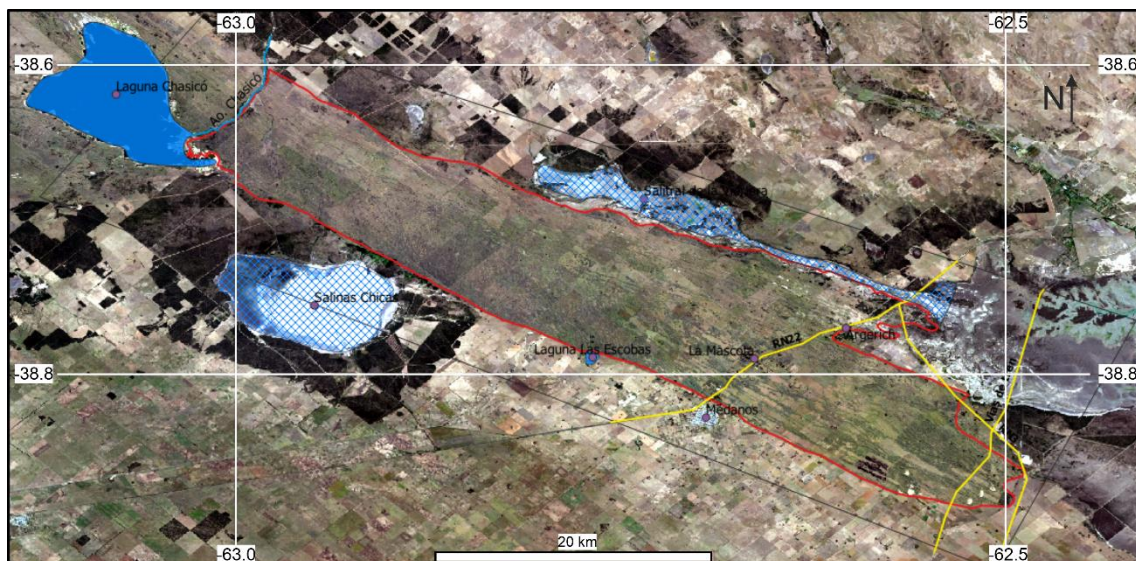


Figura 2.2.1. Integración de bandas de imágenes LANDSAT 8 del área de estudio.

Conjuntamente, se calcularon índices como el NDVI (Figura 2.2.2) y NDWI, con el objetivo de resaltar diversos elementos del terreno (vegetación, infraestructura, uso agrícola, etc.) como apoyo para una mejor comprensión e interpretación de los datos.

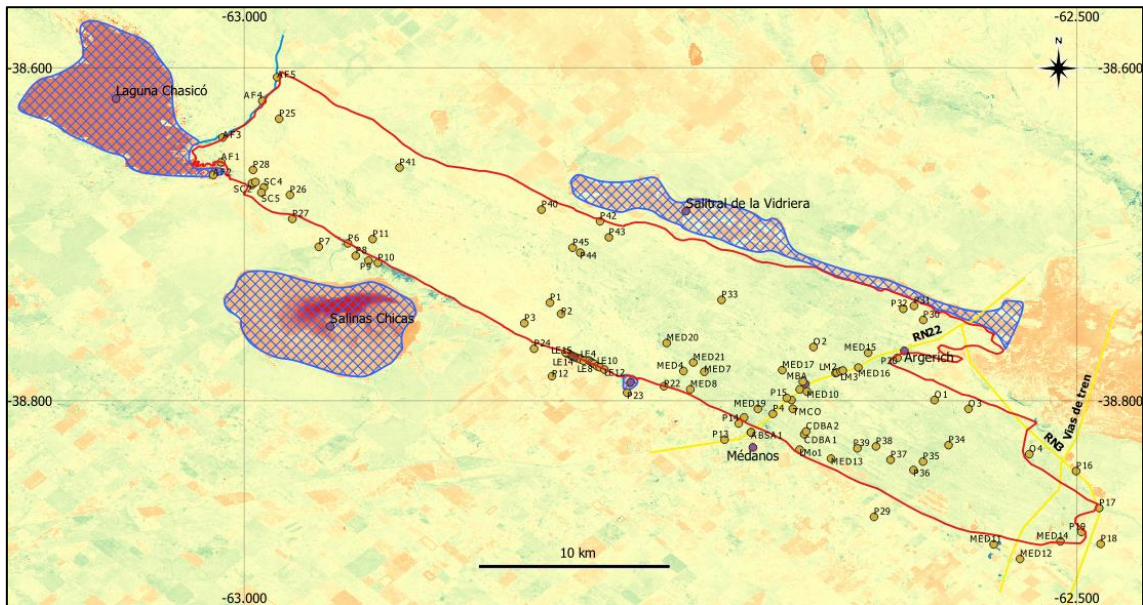


Figura 2.2.2. Representación del índice NDVI realizado con bandas de imágenes LANDSAT 8 del área de estudio.

Los círculos amarillos señalan puntos de medición de agua subterránea.

Para la confección del mapa topográfico base se descargaron las fuentes gratuitas MDE-Ar 2.0 (modelo digital de elevación) del Instituto Geográfico Nacional y se realizó un mosaico Ráster en QGIS que abarca toda el área de estudio y alrededores. Posteriormente, con este mismo software, mediante herramientas estándar junto con las opciones Grass y SAGA GIS se efectuó un suavizado del modelo de elevación y se extrajeron las curvas de nivel, representadas con una equidistancia de 10 metros.

A modo de apoyo se utilizaron puntos acotados del IGN y las hojas topográficas escala 1:50000 disponibles del área de trabajo, con las que se realizó un mosaico de la totalidad de la zona (Figura 2.2.3): hoja 3963-9-4 (Balneario Chapalcó), 3963-10-3 (Estancia Los Chañares), 3963-15-2 (Laguna El Salitral), 3963-16-1 (Salinas Chicas), 3963-16-2 (Médanos) y 3963-16-4 (Estación Ombucta).



Figura 2.2.3. Mosaico generado a partir de las hojas topográficas de la zona de estudio.

Posteriormente los datos fueron exportados en formato vectorial y se trabajó sobre ellos con el software de diseño gráfico CORELDRAW 2021 a fin de introducir cambios y mejoras en el mapa teniendo en cuenta el criterio geológico, geomorfológico e hidrogeológico. Este mapa topográfico (Figura 2.2.4) se utilizó como base para volcar y proyectar diferentes grupos de datos generados durante esta tesis (mapas de isopiezas, curvas de isoconcentración, vulnerabilidad del acuífero, etc.).

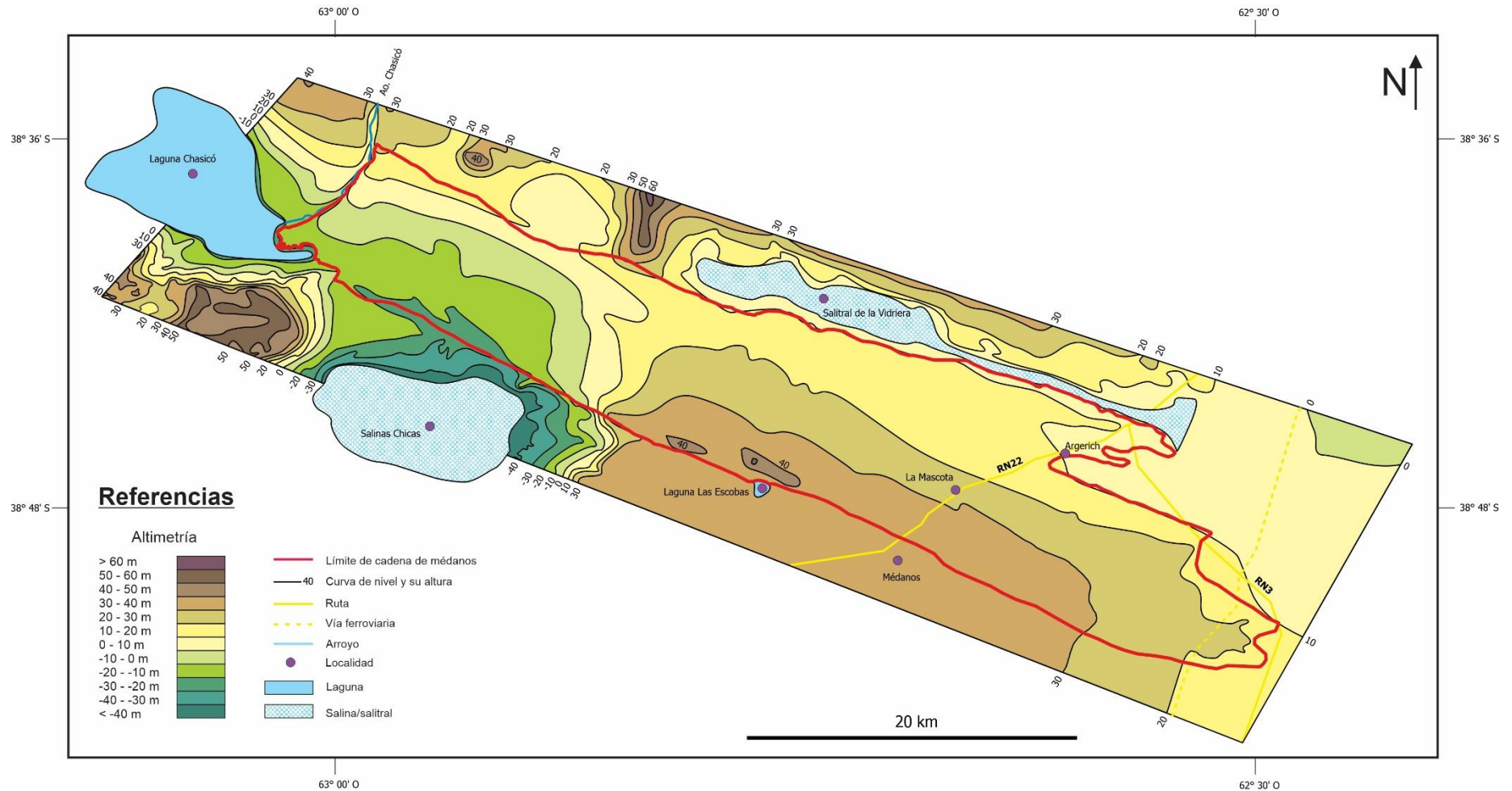


Figura 2.2.4. Mapa topográfico base. La línea roja delimita el área de estudio propiamente dicha.

El algoritmo de interpolación utilizado para la generación de isolíneas en todos los casos fue "Natural Neighbor" en el software Surfer 15, que mostró los mejores resultados en relación a los restantes disponibles. Se realizaron además modelos 3D de elevación de la cadena de médanos para una mejor visualización de la morfología de superficie de la misma (Figura 2.2.5).

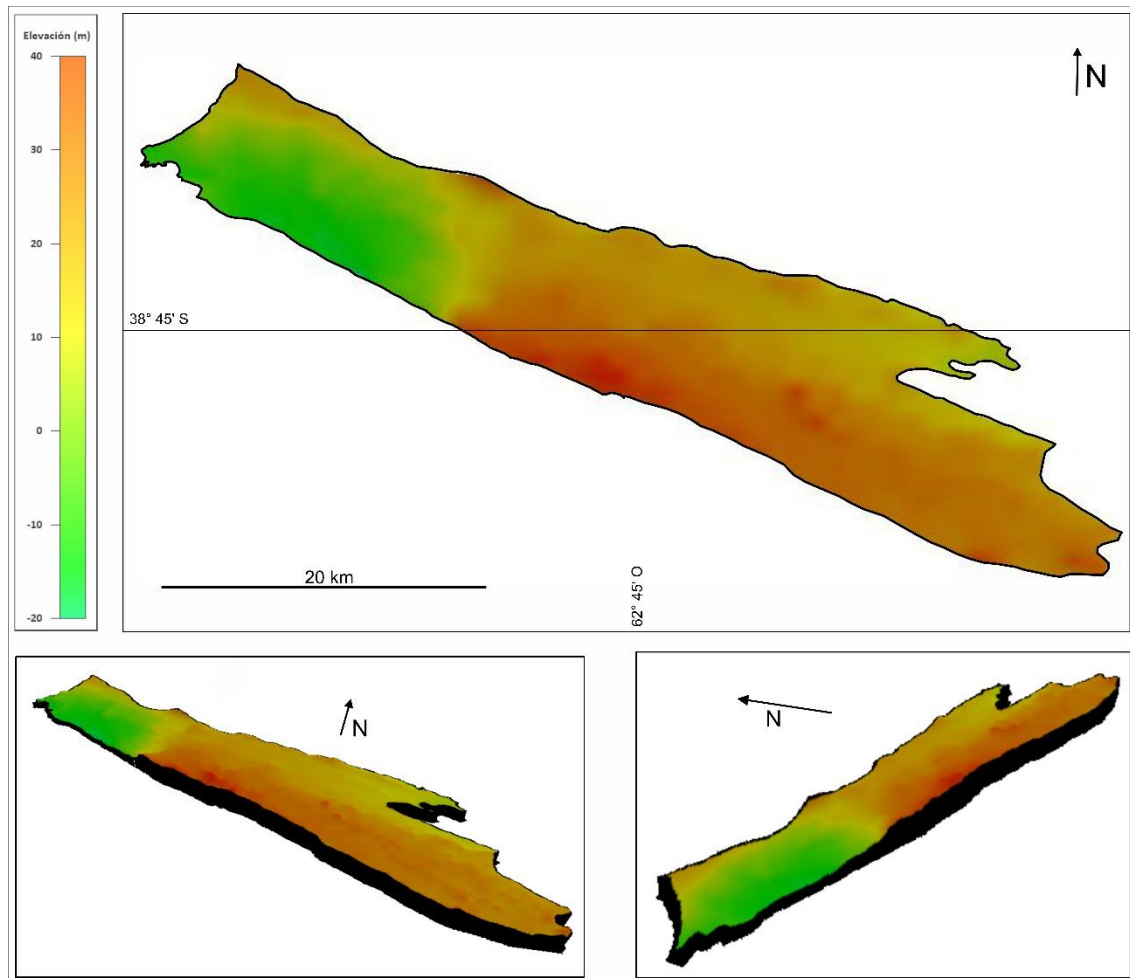


Figura 2.2.5. Modelo 3D de la cadena de médanos.

2.3 RECOPIACIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS METEOROLÓGICOS

Con el objetivo de realizar una caracterización climática de la zona se recopilaban fuentes de libros y artículos de investigación y se contrastaron series de datos para diferentes localidades, tanto dentro del área de estudio como cercanas a la misma. Los datos fueron obtenidos de diversas fuentes, a saber: el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y la Corporación de Fomento del Valle Bonaerense (CORFO), además de aquellos brindados por Aguas Bonaerenses S.A. (ABSA).

Los datos de pluviometría más completos corresponden a la serie de Médanos (1972-2005), facilitados por ABSA y se muestran en el Anexo I. Esta serie fue tomada como referencia para realizar un análisis de doble masa con localidades cercanas a fin de corroborar la consistencia y homogeneidad de los datos. Posteriormente se realizó un tratamiento estadístico de estas mediciones de lluvia, así como de otras variables climáticas de interés (temperatura, humedad relativa y vientos) y se llevó a cabo el cálculo de la evapotranspiración potencial y real mediante diferentes metodologías ampliamente aceptadas. Estos mismos fueron los seleccionados para cálculos de balances hídricos y de recarga.

2.4 MEDICIONES DE NIVEL FREÁTICO Y MUESTREO HIDROQUÍMICO

Se realizaron campañas de medición del nivel freático en los pozos existentes en la zona durante el período comprendido entre el 31 de marzo y el 4 de junio de 2021, empleando sondas piezométricas OTT de 50 y 100 m (Figura 2.4.1), totalizando 49 medidas.

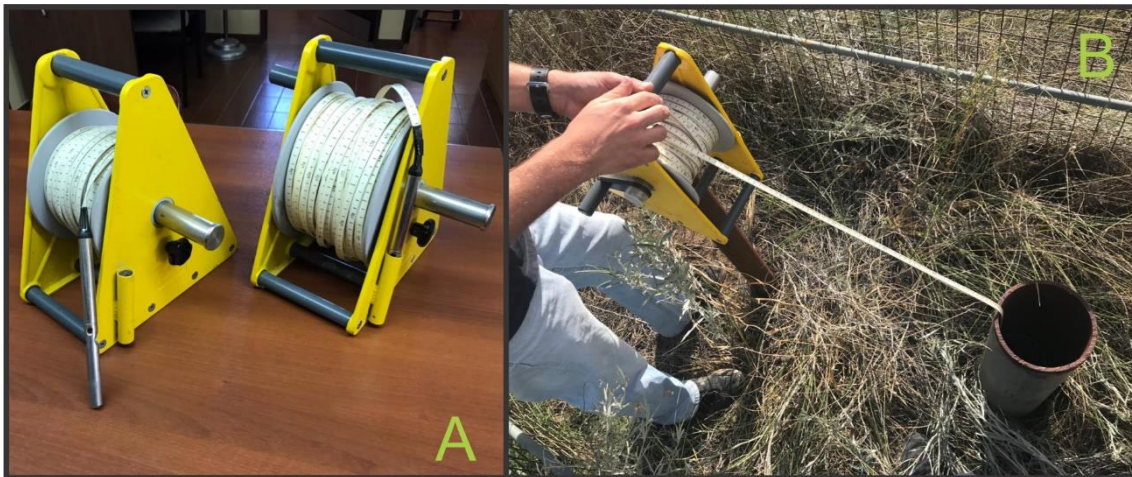


Figura 2.4.1. *Sondas piezométricas utilizadas (A) y mediciones realizadas en campo con las mismas (B).*

La ubicación de los puntos fue determinada utilizando un GPS Garmin Etrex Vista e30x. Los datos fueron volcados a planillas de campo (Figura 2.4.2) para posteriormente ser tratados en gabinete.

CATEDRA DE HIDROGEOLOGÍA - UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR PLANILLA DE CENSO DE POZO		
NOMBRE DEL POZO: <i>LM1 (La Maceta)</i> INFORMACIÓN TOMADA POR: <i>Rey Notar</i>		
UBICACIÓN (PCIA, PARTIDO, LOCALIDAD): <i>La Maceta, Villarino, Bs. As.</i> COORDENADAS GEOGRÁFICAS: LATITUD: <i>38° 42' 02" S</i> LONGITUD: <i>62° 38' 41" O</i> COTA (m): <i>21,10</i> FECHA: <i>31/3/2021</i>		
ESTADO Y USO DEL POZO: <i>Fuera de Servicio (falta bomba)</i> PROF. NF (mbbp): <i>10,67</i> PROF. FONDO DE POZO (mbbp): <i>34,52</i> BOMBA TIPO: <i>N/A</i>		
TEMPERATURA (°C): <i>20,4</i> pH: <i>7,40</i> CONDUCTIVIDAD (µS/cm): <i>584 µS/cm</i> MUESTRA: <i>LM2 (p30 a 95 m en funcionamiento).</i>		
OBSERVACIONES: <i>Utiliza bomba sumergible de 3HP. Se realizan mediciones in-situ en pzo próximo (LM2) en funcionamiento y se toma muestra.</i> <i>Nivel piezométrico: 10,43 msnm.</i>		

Figura 2.4.2. Planilla de censo de pozo utilizada en el campo para relevamiento de puntos de agua.

A su vez, se llevaron a cabo mediciones in-situ de temperatura, pH, conductividad eléctrica y total de sólidos disueltos (TSD) utilizando una sonda multiparamétrica LUTRON WA-2015 (Figura 2.4.3) y se realizó la extracción de muestras para análisis físico-químicos. El medidor fue calibrado antes de cada salida al campo utilizando soluciones buffer de pH 4 y 7 y una solución standard de conductividad de 1413 µS/cm.



Figura 2.4.3. Sonda multiparamétrica Lutron WA-2015 para pH, temperatura, conductividad y TDS in-situ (A) y toma de mediciones en campo (B).

Con el fin garantizar la representatividad de las muestras de agua y las mediciones antes mencionadas, se realizó previamente a la toma de las mismas el purgado de los pozos, extrayendo de 3 a 5 veces el volumen de agua contenido en la perforación al momento de la extracción. Las muestras se recolectaron en envases plásticos de 1L, que fueron rotulados y conservados hasta su despacho a laboratorio. En total se realizaron 44 mediciones en el lugar y se extrajeron 39 muestras, de las cuales que se analizaron en laboratorio 16. Se recolectaron también 9 muestras de agua de lluvia en la localidad de Médanos, tomadas entre junio de 2021 y noviembre de 2022.

Se realizaron determinaciones de pH, conductividad eléctrica, TSD, Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , As, F⁻, alcalinidad y dureza sobre 16 muestras de agua subterránea, llevadas a cabo en el laboratorio LANAQUI (CERZOS-CONICET-UNS) y LIUC (CONICET-UNS).

La metodología e instrumental utilizados para dichas determinaciones se llevó a cabo, para el caso de los aniones, de acuerdo a la establecida por "Standard Method for the Examination of Water and Wastewater", 17th edition (APHA y AWWA-WPCF, 1989). Las determinaciones de cationes fueron efectuadas 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, Francia), cuyas características son: 0,05 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad eléctrica, 18,2 $\text{M}\Omega/\text{cm}$ de resistividad. Los sólidos disueltos totales fueron determinados por método gravimétrico (50 mL en estufa, Temperatura de 105 °C hasta sequedad total, masa constante). Para el fluoruro se utilizó un electrodo combinado selectivo de fluoruros (ISE), marca Orion, soluciones de calibración: 0,25; 0,50; 1,00; 2,00; 4,00; 8,00 y 10,00 ppm de F⁻. y agua calidad ultrapura, MilliQ, 18,2 $\text{M}\Omega$. Los errores admisibles de las determinaciones de laboratorio se encuentran en función de la conductividad eléctrica del agua (Custodio y Llamas 1983; FCIHS, 2009).

Cada análisis individual puede encontrarse en el Anexo II, mientras que las planillas completas del censo realizado y determinaciones químicas pueden encontrarse en el Anexo III.

Ya en gabinete, se analizaron los datos obtenidos, realizando diferentes cuadros y relaciones entre iones y cationes (Piper, Schöeller, Stiff, índices geoquímicos, entre otros) y mapas de isoconcentración de diferentes elementos utilizando el software Surfer, QGIS y CORELDRAW 2021. Se llevó a cabo además una clasificación de la aptitud de las aguas para riego, para bebida animal y, por último, para consumo humano.

2.4.1 REGISTRADOR CONTINUO (DATA LOGGER)

Mediante la utilización de un freatímetro digital de registro continuo (Data Logger) HOBO Modelo U20L, se llevó a cabo la medición continua del nivel de un pozo de observación ubicado en un pozo fuera de servicio (38°46'33.7" S, 62°47'46.0" O) en el campo de bombeo Las Escobas, de la prestataria del servicio local de agua de Médanos.

El equipo registrador (Figura 2.4.1.1) puede trabajar en un rango de hasta 9 m de variación en las mediciones y temperaturas entre -20 a 50 °C, con una exactitud de medición de 0,1%. A su vez, se puede utilizar un segundo dispositivo colocado en el aire para realizar la compensación y corrección barométrica de las mismas. Posee una memoria interna en la que son almacenados los datos, para ser posteriormente descargados a una computadora y ser tratados en gabinete. La duración típica de la batería del dispositivo es de alrededor de 5 años.



Figura 2.4.1.1. Freatímetro digital HOBO U20L utilizado para la medición continua de niveles.

Se recolectaron datos entre el 22/04/2021 y el 25/04/2022, con un intervalo entre mediciones de 12 horas (lecturas al mediodía y a la medianoche). Esta tarea fue realizada con el fin de obtener y analizar la información sobre la tendencia evolutiva de los niveles de dicho pozo en el tiempo y su relación con los procesos naturales y/o antrópicos existentes en el acuífero, así como el retardo de la respuesta de los niveles ante un evento de precipitación. Esta información es de gran utilidad para mejorar la planificación y gestión del recurso hídrico. La descarga de los datos almacenados en el dispositivo fue llevada a cabo mediante el software HOBOWare Pro (Figura 2.4.1.2).

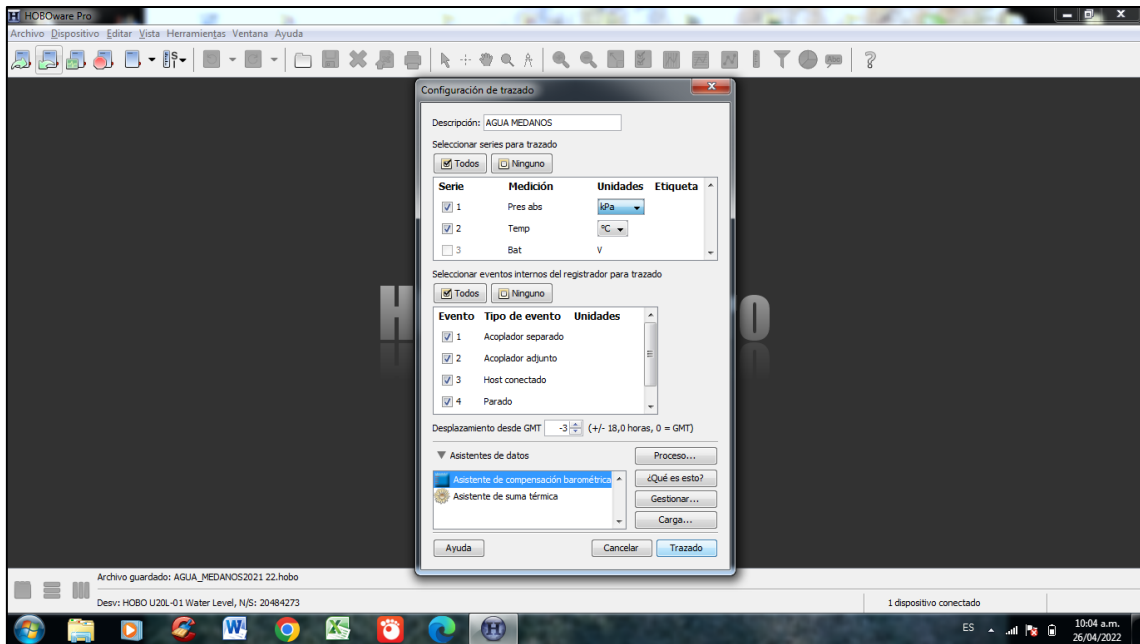


Figura 2.4.1.2. Software utilizado para la descarga de datos del freatímetro digital.

2.5 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE MUESTRAS DE SEDIMENTO

Para la caracterización de las arenas de la cadena de médanos que contienen al acuífero freático, se colectaron muestras de sedimento de la zona. Las mismas fueron tomadas durante la campaña de campo llevada a cabo para el censo de puntos de agua, recolectándose en total seis muestras, distribuidas a lo largo del área de estudio.

Una vez en gabinete, se procedió a su tamizado, utilizando una plataforma Fritsch y 9 tamices de apertura de malla decreciente (Figura 2.5.1), considerando los límites propuestos por Wentworth (1922).



Figura 2.5.1. Equipamiento utilizado para el tamizado de las muestras de sedimento recogidas.

Con el peso retenido en cada tamiz se confeccionó la curva granulométrica de cada muestra, a partir de la cual se calcularon las distribuciones de tamaño de granos, los diámetros de interés y los coeficientes de uniformidad (c_u) y de curvatura (c_c) de Hazen, cuyas fórmulas se expresan como (Custodio y Llamas, 1983):

$$c_u = d_{60}/d_{10}$$

$$c_c = d_{30}^2/(d_{10} * d_{60})$$

Donde d_{60} representa el tamaño por el que pasa el 60% del material, d_{30} el tamaño por el que pasa el 30% y d_{10} el tamaño por el que pasa el 10% del mismo.

El coeficiente de uniformidad indica la dispersión de tamaños en la muestra. Valores menores a 3 se consideran muy uniformes. Por otro lado, el coeficiente de curvatura permite diferenciar la selección del material, y puede considerarse que valores entre 1 y 3 representan un sedimento bien seleccionado.

2.6 ESTUDIOS GEOELÉCTRICOS

Con el fin de contar con información complementaria del subsuelo y las características físicas y geológicas del mismo, se realizaron una serie de estudios geoelectricos en la zona de estudio. Las magnitudes principales que en principio pueden utilizarse para medir las características del subsuelo son: la permeabilidad magnética (μ), la constante dieléctrica o

permitividad (ϵ) y la resistividad (ρ). Entre ellas es casi exclusivamente la resistividad la magnitud cuya distribución se estudia (Orellana, 1982).

La resistividad es la propiedad que mide la dificultad de una corriente eléctrica a atravesar un medio, en este caso la roca o sedimento. Se expresa como ρ y su unidad es el Ohm metro (Ωm). Esta medida es propia del material y a su vez proporcional al contenido y tipo de fluido presente en los espacios porales de dicho material.

El método se basa en hacer circular una corriente inducida y medir la dificultad con la que la misma atraviesa el subsuelo, midiendo la diferencia de potencial entre electrodos hincados en el terreno.

Con estas técnicas se obtiene una "resistividad aparente", que posteriormente, mediante el procesamiento y la inversión de los datos mediante softwares específicos, arroja como resultado un modelo de "resistividades verdaderas". El valor de resistividad aparente es calculado de acuerdo a la expresión:

$$\rho_{ap} = K \cdot \Delta V / I$$

Donde ρ_{ap} es la resistividad aparente en ohm.m (Ωm), K es la constante geométrica del dispositivo de acuerdo al arreglo de los electrodos en el terreno, ΔV es la diferencia de potencial medida e I es la intensidad de la corriente.

La respuesta del modelo propuesto debe ajustarse al conocimiento hidrogeológico de la zona, usando toda la información complementaria disponible (perforaciones, datos de ensayos de bombeo, información antecedente, entre otros).

2.6.1 SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES (SEV)

Mediante un SEV se puede conocer la variación vertical de las resistividades del terreno debajo del mismo, siendo una medida de carácter puntual. Se asumen un comportamiento lateralmente homogéneo y una distribución horizontal de las capas.

Se utiliza un dispositivo de 4 electrodos (Figura 2.6.1.1), haciendo circular una corriente por un circuito de emisión (AB) y midiendo la diferencia de potencial generada en los electrodos de recepción (MN), aumentando progresivamente la distancia entre los mismos.

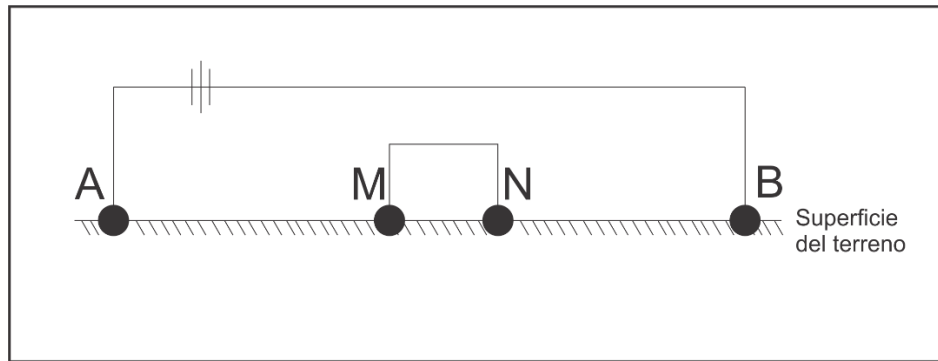


Figura 2.6.1.1. Esquema de un SEV Schlumberger.

El dato obtenido en campo es una curva de resistividad aparente, que, al ser invertido mediante la utilización de software, da como resultado la distribución de las resistividades verdaderas en profundidad.

Si bien para esta tesis no se realizaron SEVs, si se tuvieron en cuenta mediciones antecedentes realizadas mediante este método en la zona de estudio.

2.6.2 TOMOGRAFÍAS DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA (TRE)

En la TRE se combinan mediciones tanto en profundidad como lateralmente (Figura 2.6.2.1), a fin de obtener un perfil de resistividades, mediante el uso de diferentes arreglos de electrodos.

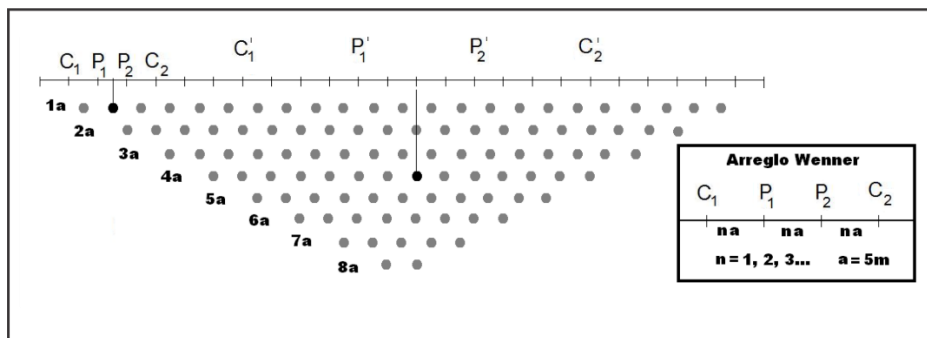


Figura 2.6.2.1. Esquema de una tomografía eléctrica con arreglo tipo Wenner.

Se induce una corriente por el circuito de emisión (C1 y C2) y se mide la diferencia de potencial generada entre los electrodos de recepción (P1 y P2). Haciendo variar la separación y posición de los electrodos (lo cual es realizado automáticamente de forma iterativa por el equipo) se obtiene la imagen en perfil. Al igual que en el caso del SEV, el resultado de campo son resistividades aparentes (calculadas a partir de la misma fórmula mencionada anteriormente), que mediante la inversión de los datos son convertidas a un modelo de resistividades verdaderas, dando de esta forma como resultado una imagen de resistividad eléctrica (IRE).

Para esta tesis se llevaron a cabo 7 TREs, utilizando un dispositivo GF Instruments modelo ARES (Figura 2.6.2.2).



Figura 2.6.2.2. Tomógrafo GF Instruments ARES y electrodos (A). Equipo en operación (B y C).

El arreglo de electrodos utilizado fue tipo Wenner Alfa, con un espaciamiento entre electrodos de 3 o 5 metros, dependiendo del caso, obteniendo de esta manera imágenes de 141 m y 235 m de largo, respectivamente. La inversión de los datos fue realizada mediante el software Res2DInv (Figura 2.6.2.3) de Geotomo (Loke, 2004). Este software utiliza el método de inversión de mínimos cuadrados de Gauss-Newton (Sasaki, 1992) sometido a una restricción de suavizado. El programa elige automáticamente los parámetros óptimos de inversión para un set de datos dado.

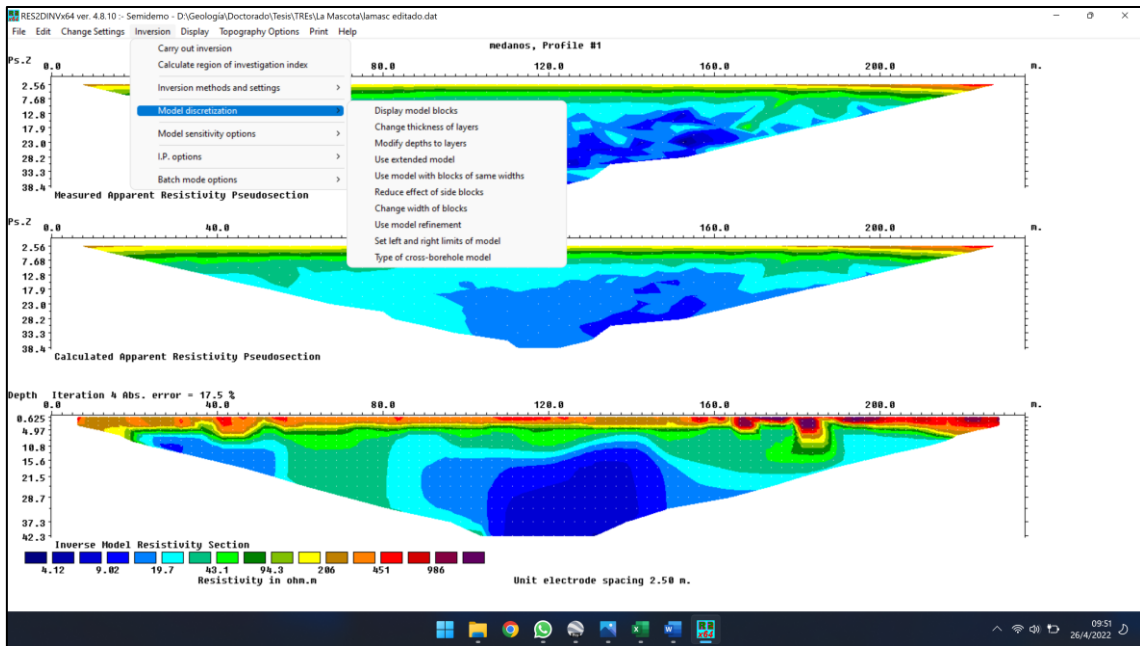


Figura 2.6.2.3. Pantalla principal del Software Res2Dinv. En este caso se seleccionó una opción para usar un espaciamiento de celda menor para mejorar los resultados.

En la Tabla 2.6.21 se presentan las ubicaciones y características de todas las tomografías llevadas a cabo en el área de estudio.

Tabla 2.6.2.1. Datos de las TRE realizadas.

Fecha	Nombre	Inicio (lat y long)	Final (lat y long)	Longitud (m)	Tipo de arreglo	Espaciado de electrodos
05/05/2021	Las Escobas 1	38°46'33.90"S 62°47'45.10"O	38°46'36.00"S 62°47'39.80"O	141	Wenner alfa	3 m (48 elec.)
05/05/2021	Las Escobas 2	38°46'32.00"S 62°47'44.90"O	38°46'28.90"S 62°47'40.60"O	141	Wenner alfa	3 m (48 elec.)
21/10/2021	La Mascota	38°47'00.70"S 62°38'31.60"O	38°46'58.60"S 62°38'22.20"O	235	Wenner alfa	5 m (48 elec.)
21/10/2021	La Esmeralda	38°49'59.50"S 62°36'48.30"O	38°49'54.30"S 62°36'55.30"O	230	Wenner alfa	5 m (47 elec.)
28/03/2022	Campo Los Médanos	38°42'2.90"S 62°42'43.30"O	38°44'8.30"S 62°42'36.40"O	235	Wenner alfa	5 m (48 elec.)
28/03/2022	Campo La Tapera	38°40'20.50"S 62°52'16.10"O	38°40'26.00"S 62°52'9.40"O	235	Wenner alfa	5 m (48 elec.)
26/04/2022	La Mascota 2	38°46'20.48"S 62°40'6.67"O	38°46'15.17"S 62°39'59.70"O	235	Wenner alfa	5 m (48 elec.)

2.7 MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LA RECARGA

Los métodos comúnmente utilizados en la Argentina para estimar la recarga en zonas de las características que se estudia en estas tesis son los balances hidrológicos, el análisis de las fluctuaciones de los niveles freáticos, métodos empíricos y trazadores hidroquímicos naturales,

como el balance del ión cloruro (Carrica *et al.*, 2012). Cada uno de ellos presenta ventajas y desventajas, y para su correcta aplicación es necesario un profundo conocimiento del funcionamiento del área de estudio. A su vez, la aplicación de un único método lleva a errores en su estimación, por lo que resulta necesario la aplicación de varios de ellos a fin de contrastar y constatar resultados, minimizando posibles errores y validando mutuamente un método con otro. La incertidumbre asociada a cada metodología corrobora la necesidad de aplicar varias técnicas distintas para aumentar la fiabilidad de las estimaciones de la recarga (Scanlon *et al.*, 2002). Esta incertidumbre viene dada por la variabilidad temporal y espacial de los diferentes procesos y parámetros, errores de medición y la validez de diferentes asunciones y simplificaciones tomadas para cada método.

Para el caso de estudio de esta tesis se llevó a cabo la estimación de la recarga mediante el balance hídrico de paso diario y el balance de masas del ión cloruro. A continuación, se explica la metodología de aplicación de cada uno de ellos.

2.7.1 BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico propuesto se basa en el método elaborado por Thronthwaite y Mather (1955). Es altamente difundido y de simple aplicación, siendo posible adaptarlo a cualquier escala espacial y temporal (Healy *et al.*, 2007). Según Carrica *et al.* (2012), varios autores (Lerner; 1990; Simmers, 1997, Hendrickx y Walker, 1997; Scanlon *et al.*, 2002) coinciden en señalar que el balance hídrico en zonas áridas y semiáridas solo puede emplearse si se realiza a paso diario, puesto que, cuando la precipitación diaria supera el valor de ETR (evapotranspiración real) diaria, da lugar a un exceso de agua factible de constituirse en recarga. Además, en estas zonas las lluvias, si bien ocasionales, suelen ser de corta duración e intensas, lo cual favorece la situación antes mencionada. Los balances hídricos mensuales o anuales en estas regiones no tienen sentido, ya que resultan siempre deficitarios debido a estas condiciones.

La magnitud de la incertidumbre de esta metodología reside en errores en el modelo conceptual de recarga del sistema y la incorrecta medición o estimación de los diferentes términos del balance, factores que serán tenidos en cuenta a la hora de presentar y analizar los resultados.

El método del balance hídrico consta de tres componentes básicos:

- La oferta de agua (precipitación).
- La demanda atmosférica de agua (evapotranspiración potencial o ETP, también llamada evapotranspiración de referencia; ET_0).
- La variación en el almacenaje de agua en el suelo.

Debido a que el suelo y la vegetación no siempre ceden a la atmósfera toda el agua que les es demandada, se utiliza el concepto de evapotranspiración real (ETR), que es la cantidad de agua realmente evapotranspirada de acuerdo a las condiciones y el almacenaje, por lo que es siempre igual o menor a la ETP.

Por lo tanto, puede expresarse el balance de agua para el área de estudio de acuerdo a la fórmula:

$$P-R-ETR-Es=\Delta S$$

Donde P es la precipitación (entrada de agua al sistema), R es la recarga, ETR la evapotranspiración real, Es la escorrentía superficial y ΔS la variación en el almacenamiento de agua del suelo (el cual puede ser positivo cuando aumenta y negativo cuando disminuye). La escorrentía superficial puede considerarse 0 para el caso debido a la baja pendiente de la zona y la rápida infiltración del agua de lluvia debido a la textura arenosa del sedimento.

El almacenamiento de agua en el suelo tiene un valor máximo definido que corresponde a la capacidad de campo del mismo (CC). Este término, introducido por Veihmeyer y Hendrickson (1931), se refiere a la cantidad máxima de agua que es capaz de retener el suelo luego de su saturación y posterior drenado de su agua gravitacional. Este valor dependerá de la granulometría, profundidad radicular de la vegetación y cobertura vegetal.

Cuando la precipitación supera a la ETR, el almacenamiento de agua en el suelo va aumentando hasta alcanzar la capacidad de campo. Pasando este punto, toda adición de agua al sistema se considera recarga, ya que el agua infiltrada pasa a considerarse como drenaje profundo hacia el subsuelo, contabilizándose de esta manera como recarga en el acuífero debido a la ausencia de escorrentía, como fue mencionado anteriormente.

La ETP diaria utilizada fue estimada a partir de datos meteorológicos analizados en esta tesis, mediante la fórmula de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998) utilizando la aplicación CROPWAT (FAO, 2008) y la medida física de ETP en Tanque tipo "A" de la localidad de Argerich.

Para el cálculo del balance se utilizó el programa BALSHORT V3 (modificado de Carrica, 1993). Su utilización en zonas áridas y semi áridas del sudoeste bonaerense ha demostrado un buen ajuste con otras metodologías de cálculo.

2.7.2 BALANCE DE MASAS DEL IÓN CLORURO

Este método, desarrollado inicialmente por Eriksson y Khunakasem (1969), se clasifica dentro de los llamados "métodos de trazadores" y se basa en el principio general por el cual se

asume que el agua y el trazador son transportados a la misma tasa. El ión cloruro es el trazador ambiental más importante para estimar tasas de recarga bajo un amplio rango de condiciones climáticas, geológicas y de suelo (Hendrickx y Walker, 1997) y de acuerdo a Allison *et al.* (1994) esta técnica es la de más éxito en regiones secas. Posee la ventaja de ser el ión conservativo por excelencia, debido a que es muy soluble, no interacciona con el medio y el terreno carece de cantidades significativas del mismo (Custodio, 1997b). Es decir, que el aumento en la concentración de cloruro en el agua freática puede considerarse debido exclusivamente a la evapotranspiración. La ecuación de este método puede expresarse como:

$$P \cdot Cl_p = R \cdot Cl_R + Es \cdot Cl_{Es}$$

Donde P es la precipitación, Cl_p la concentración del cloruro en el agua de lluvia de la zona de recarga del acuífero, R es la recarga y Cl_R es la concentración de cloruro en el agua de recarga del acuífero (que excede la zona radicular, habitualmente agua freática). El término compuesto por Es (escorrentía superficial) y su concentración de cloruro (Cl_{Es}) se considera 0 para este estudio por las mismas razones ya expuestas en el punto anterior, por lo que la ecuación se simplifica, quedando expresada únicamente como:

$$R = P \cdot Cl_p / Cl_R$$

Para que esta ecuación se cumpla se asumen dos simplificaciones: por un lado, que no hay aportes litológicos de Cl al agua de recarga y, en segundo lugar, que no hay cultivo intenso que lo aporte y dado el tiempo suficiente hay un equilibrio entre la cantidad de Cl aportado por materia vegetal en descomposición y la cantidad de Cl que la materia vegetal viviente toma del agua. Es importante destacar que este método es independiente respecto de los mecanismos de desplazamiento del agua a través de la ZNS.

Por otro lado, se puede definir el *factor de enriquecimiento en cloruro* (FEC), que indica el aumento de concentración en el agua freática respecto al agua de lluvia (Rosenthal, 1987), y se expresa como:

$$FEC = Cl_R / Cl_p$$

En zonas con escurrimiento superficial poco significativo o prácticamente nulo (como el área de estudio de esta tesis), la inversa de este valor representa el *coeficiente de infiltración eficaz*, propuesto por Schöeller (1962).

De esta manera, la recarga queda determinada por la fórmula:

$$R = P \cdot 1 / FEC$$

Donde R es la recarga en mm, P es la precipitación en mm y FEC es el factor de enriquecimiento en cloruro.

A este método de cálculo se le puede objetar que, cuando el nivel freático se encuentra muy cercano a la superficie, la pérdida de agua por evaporación directa del acuífero introduce una componente que agrega cierto contenido de sales en el residuo evaporado dentro del cual se encuentran los cloruros (que se asumieron provenientes exclusivamente de la evaporación del agua de lluvia). Esto conlleva un valor mayor al término Cl_R (Bonorino y Torrente, 1992). La evaluación de la magnitud de este error es difícil de calcular, pero según estos mismos autores, no desvirtúa demasiado el resultado final.

Los datos utilizados para realizar el cálculo de la recarga con este método fueron los obtenidos del análisis de las muestras de lluvia recolectadas ya mencionadas anteriormente, además de datos antecedentes de muestras tomadas en cercanías de la Laguna Chasicó.

2.8 VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN

Desde que Margat (1968) introdujo por primera vez el término "vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación", se han ideado y desarrollado numerosas metodologías y calificaciones para la determinación del mismo. Frecuentemente estas metodologías apuntan a la representación gráfica mediante el mapeo de la vulnerabilidad en el área considerada. Además, de acuerdo a Auge (2007), existe cierta controversia respecto a la utilidad de estas representaciones y a si este término debe considerarse dentro de un marco cualitativo o cuantitativo. Para el presente trabajo, se llevó a cabo la representación cartográfica de la vulnerabilidad mediante los métodos explicados a continuación.

2.8.1 ELABORACIÓN DE MAPAS DE VULNERABILIDAD

Los resultados obtenidos para el área de estudio fueron volcados en mapas de vulnerabilidad mediante el software QGIS y exportados a CORELDRAW para mejoras estéticas en su diseño. Si bien involucran muchas simplificaciones en cuanto a consideraciones geológicas e hidrogeológicas, son útiles a fines orientativos y de rápido análisis para visualizar áreas de interés altamente vulnerables y plantear posibles cursos de acción para establecer medidas preventivas y/o correctivas.

El análisis de la vulnerabilidad intrínseca del acuífero freático y la posterior representación mediante mapas de vulnerabilidad se llevó a cabo mediante las metodologías GOD y DRASTIC. El método GOD (Foster, 1987) es ampliamente aceptado a nivel mundial

debido su simplicidad y por mostrar buenos resultados en acuíferos porosos. Es uno de los llamados "métodos de índice". Por otro lado, el método DRASTIC, desarrollado para la Environmental Protection Agency (EPA) por Aller *et al.* (1987) es de uso ampliamente difundido y considera un mayor número de características del acuífero.

CAPÍTULO 3: ÁREA DE ESTUDIO

3.1 UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES

El partido de Villarino se ubica en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, limitando al norte con los partidos de Puán, Tornquist y Bahía Blanca, al sur con el de Patagones (separado del mismo por el río Colorado), al oeste con la provincia de La Pampa y al este con el Mar Argentino. Su superficie es de aproximadamente 11400 km², con una altitud media de 3 metros sobre el nivel del mar y su cabecera es la localidad de Médanos. De acuerdo a la metodología propuesta por Gorenstein *et al.* (2016), puede considerarse de acuerdo a su densidad poblacional como de tipo rural, siendo la agrícola-ganadera la actividad económica predominante. Las principales localidades del partido son: Algarrobo, Médanos, Teniente Origone, Mayor Buratovich, Hilario Ascasubi y Pedro Luro.

En lo que respecta al uso de la tierra está destinado casi exclusivamente a la explotación agrícola-ganadera, actividad fundamental en la zona. La agricultura en secano presenta cultivos primariamente de cereales y pasturas. En la zona de riego se reconocen dos variantes: por un lado, el riego por gravedad en la zona aluvial del Colorado, que origina un sector destinado principalmente a cultivos hortícolas con usos menores destinados a cereales y pasturas; por el otro lado el riego por bombeo de agua subterránea que se lleva en las inmediaciones de la localidad de Médanos, que hace posible el cultivo intensivo de ajo. Las tierras de escasa aptitud están destinadas a uso pecuario. Otro de los recursos económicos de importancia en las cercanías de la zona de estudio proviene de la actividad minera (explotación de sal).

El área de estudio de esta tesis, con su centro aproximado en las coordenadas 38°44'32" de latitud Sur y 62°45'24" de longitud Oeste (Figura 3.1.1), se enmarca a nivel regional dentro de la llanura bonaerense y comprende la cadena de médanos continentales que se extiende unos 50 km en dirección noroeste-sudeste, desde el estuario de Bahía Blanca, al sudeste, hasta la laguna Chasicó y el arroyo homónimo al noroeste. Su porción sudeste posee una suave pendiente de 0,2% hacia el NE y una altura media de 30 m.s.n.m. (Carrica *et al.*, 2012), mientras que el sector noroeste de la cadena tiene una pendiente promedio de 0,5% hacia el SO, con una altura media de 3 m por debajo del nivel del mar. Las características topográficas imposibilitan el desarrollo de una red de drenaje marcada. Posee una anchura de alrededor de 10 km, abarcando de esta manera una superficie de unos 460 km². Hacia el noreste limita parcialmente con el salitral de la Vidriera y hacia el suroeste con las Salinas Chicas, las cuales alcanzan una cota de 42 m.b.n.m.

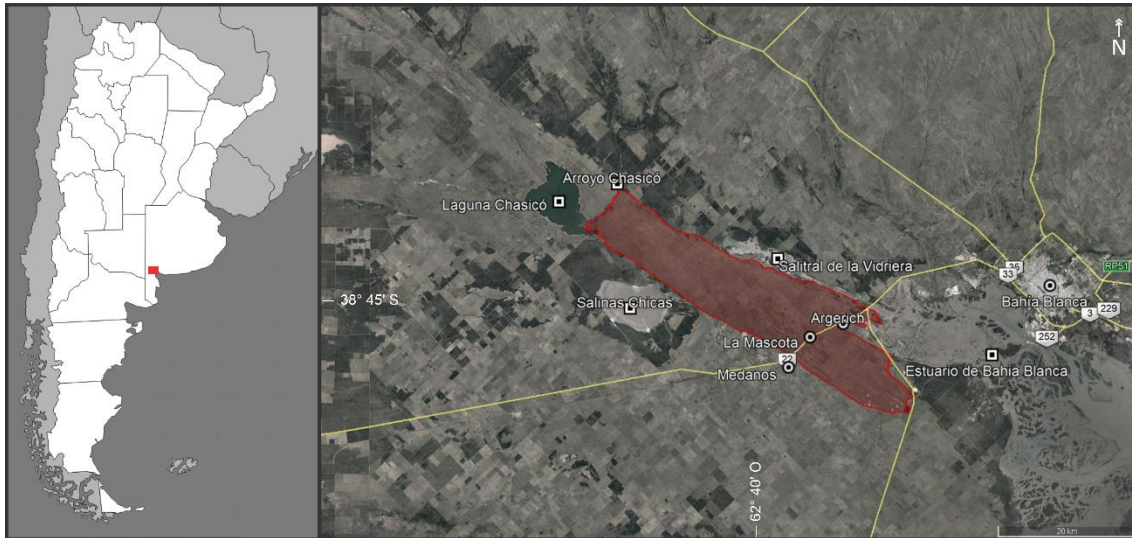


Figura 3.1.1. Ubicación del área de estudio. En rojo se marca la superficie abarcada aproximada de la cadena de médanos hasta el arroyo Chasicó.

La localidad de Médanos se ubica en el límite suroeste de la cadena de dunas, mientras que los poblados de La Mascota y Argerich quedan incluidos totalmente dentro del área. Estas tres localidades son unidas por la Ruta 22, la cual atraviesa el área de estudio en sentido noreste-sudoeste.

3.2 RESEÑA HISTÓRICA DEL PARTIDO DE VILLARINO

En mayo de 1833, Don Juan Manuel de Rosas, en plena Campaña al Desierto, acampa en el lugar conocido como Médano Redondo, en las cercanías de lo que es hoy Fortín Mercedes. Días más tarde fundaría el Fortín Colorado, a unos 36 Km del Río Colorado. En la zona actual de Médanos no se efectivizó la conquista, dado que no se construyó ningún fuerte o población estable, por lo que los nativos volvieron a ocupar el área, sobre todo como camino de comunicaciones entre las salinas y el asentamiento de las tribus.

En 1863, Pedro Luro, un inmigrante vasco francés, inicio un plan de colonización agraria en la desembocadura del Río Colorado. Este lugar será uno de los primeros asentamientos de la zona. Sus hijos, Adolfo y Rufino, donaron parcelas, trazaron planos y solicitaron autorización para fundar un pueblo que llevaría el nombre de su padre.

El Congreso Argentino, hacia el año 1878 dispuso la subdivisión de las tierras a conquistar efectivamente, en los siguientes términos: "A medida que avance la línea de fronteras, se hará mensurar las tierras a que se refieren los artículos anteriores y levantar planos respectivos, dividiéndose en lotes de 10.000 hectáreas numeradas de uno en adelante, con designación de pastos, aguadas y demás calidades, todo lo cual se hará constar en un registro especial denominado": "Registro Gráfico de Tierras de Frontera" (Randle, 1978). La mensura,

división y amojonamiento de estas tierras públicas quedaría a cargo del agrimensor Adolfo Sourdeaux, tarea que comenzó en 1878 y concluyó a principios de 1882.

El 28 de julio de 1886 es creado a través de la ley provincial 1827 el partido de Villarino, constituyéndose sus primeras autoridades en 1888. Antes de su creación estas tierras formaban parte del partido de Bahía Blanca, habiendo sido ganadas en campañas anteriores ante la población aborigen. El nombre del partido hace referencia al marino y explorador español D. Basilio Villarino, explorador de la Patagonia en el período entre 1778 a 1785, durante el cual explora las costas del litoral marino y los ríos Negro, Colorado, Limay y Deseado, entre otros; y que sucumbió a manos de los indios el 26 de enero de 1785 durante una expedición a Sierra de la Ventana.

El avance de la zona se vio fuertemente favorecido por la existencia del ramal ferroviario que desde 1897 la atravesaba, uniendo Bahía Blanca con Neuquén. En esta fecha se decreta la inauguración del mismo y la habilitación de la estación de pasajeros y carga. Conjuntamente con este hecho, el 13 de abril de 1897 es fundada la ciudad de Médanos. Esta localidad se consolidó a merced de la producción agrícola, ganadera y hortícola y aún hoy sigue concentrando la actividad comunitaria, política y administrativa de su territorio. A raíz del tendido de líneas ferroviarias, muchos de los puestos que conformaban estaciones se convertirían subsecuentemente en pueblos (Mayor Buratovich, Hilario Ascasubi, etc.).

A principios del siglo XX se observa la inmigración en grandes oleadas y el inglés Tomás Ronaldson compra una extensa superficie que abarca desde lo que hoy es Argerich hasta la zona de influencia de Médanos, y es en estas tierras que en 1905 se delinea el ejido de la población agrícola cuya creación había sido encargada por el gobierno a Ronaldson, practicando la mensura el agrimensor Walberto Ringuelet y escriturándose a favor del fisco los terrenos para construir edificios públicos. Por sanción legislativa, el 18 de julio de 1910 se declaró cabecera del partido a la ciudad de Médanos. A partir de 1910 comienza a cobrar cada vez más importancia la agricultura y ganadería extensiva, introduciéndose entre 1957 y 1970 organismos nacionales como el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y provinciales como Corporación de Fomento del Río Colorado (CORFO).

En la actualidad en el partido de Villarino se verifica una reducción de la población rural y un aumento de la población urbana, sobre todo en el caso de esta última durante el período 2001-2010. Sin embargo, sigue teniendo características predominantemente rurales, donde casi el 18% de los hogares están excluidos de la red pública de agua y se abastecen mayoritariamente mediante perforaciones. Estos cambios en la dinámica de crecimiento y en la distribución espacial de la población están en relación con los cambios socio-económicos y

tecnológicos ocurridos a partir de 1960 en el contexto nacional y muy particularmente a escala regional. La creciente capitalización y modernización del agro pampeano incide en el proceso de urbanización y en el incremento de la movilidad de la población. Por tanto, el espacio rural y el urbano se encuentran ampliamente vinculados a partir de las actividades desarrolladas por los grupos humanos de producción, circulación y consumo de bienes y servicios (Prieto, 2011).

3.3 EVOLUCIÓN DEL CONOCIMIENTO DEL SISTEMA ACUÍFERO

A comienzos del siglo XX se crea la Dirección General de Minas e Hidrología, dependiente del Ministerio de Agricultura de la Nación. Entre sus objetivos se encontraban la realización de mapas geológicos e hidrogeológicos, confeccionándose un plan de perforaciones profundas de exploración. En ese marco, son numerosos los autores que se dedicaron al recurso hídrico subterráneo. Uno de los más destacados en la materia ha sido Stappenbeck (1926), con un trabajo publicado en Alemania, que representa un estudio trascendente sobre el agua subterránea en la llanura Pampeana.

Más concretamente en la zona de trabajo, si bien se han realizado estudios con anterioridad, aun se carece de trabajos de detalle en el lugar. Entre los primeros existentes se pueden citar aquellos de carácter regional, llevados a cabo por Wichmann (1918) y García y García (1964), en los que se trata la hidrogeología de Bahía Blanca y sus alrededores y se hace referencia a los cordones medanosos de la provincia. El mismo autor, en García (1969), realiza una síntesis del estado de conocimiento de los recursos hídricos en la región, concluyendo que "una explotación racional requiere de una etapa de exploración y evaluación del recurso a fin de programar su explotación de acuerdo con sus verdaderas posibilidades".

La Dymas (1974), en su contribución al mapa geohidrológico de la provincia de Buenos Aires, cita las "fajas medanosas oriental, mediterránea septentrional y mediterránea austral", ubicando a las mismas dentro de la Cuenca de Bahía Blanca. En esta serie de informes, se subdivide la cuenca en 4 ambientes, quedando aquellas circunscriptas al "ambiente de cordones medanosos". Este incluye los cordones que se extienden desde Punta Alta y los "asociados a la depresión de Chasicó-Salinas Chicas, que se internan en la provincia de La Pampa". Se menciona también el ambiente de "bajos salinos", con la cadena medanosa cubriendo el mismo. Estos cordones son citados como importantes áreas de recarga. En un trabajo posterior llevado a cabo por Sala (1975), también de carácter regional, se analizan los recursos hídricos subterráneos de la provincia de Buenos Aires y se describe el comportamiento hidrológico de los ambientes de dunas.

Bonorino (1974, 1979) lleva a cabo un estudio de carácter más detallado en la zona, tocando distintos aspectos del agua subterránea en un área situada en los alrededores de la localidad de Médanos. En el mismo se hace referencia a la Formación Médanos, "compuesta por arenas medias-finas eólicas en forma de mantos o médanos que generan una rápida infiltración del agua de lluvia, e incorporación a la zona saturada".

Más recientemente, Auge (2004) realiza una caracterización de las regiones hidrogeológicas de la Argentina, incluyendo al área de estudio dentro de la denominada región hidrogeológica de la Cuenca de Bahía Blanca (si bien la misma se ubica dentro del ámbito de la Llanura Chaco-Pampeana árida, el autor cree conveniente que se la considere como una unidad independiente debido a sus particularidades). En el estudio se hace mención a los cordones de dunas como portadores de agua dulce de buena calidad, que conforman un medio geológico favorable para la infiltración y la recarga subterránea, dando lugar a la formación de lentes de agua dulce, que son aprovechadas por los pobladores rurales.

En localidad de Argerich, la cual se enmarca dentro del área de estudio de estas tesis, Albouy (2005) realiza un estudio hidrogeológico expeditivo de carácter local. En Carrica *et al.* (2009) se tratan distintos aspectos y particularidades de la recarga en climas semiáridos y Carrica *et al.* (2012) evalúan la recarga en los médanos de la localidad homónima mediante tres métodos: simulación del flujo de agua mediante el software HYDRUS 2D/3D, balance hidrológico del suelo y balance del ión cloruro entre el agua de lluvia y de la capa freática. En la misma localidad, Lexow y Bonorino (2012) llevan a cabo un estudio hidrogeológico, siendo a la fecha unos de los trabajos más completos realizados en la zona.

Hasta el momento de realización de esta tesis no existe un trabajo que integre e investigue en detalle el sistema acuífero en su totalidad contenido en el cordón medanoso del área.

3.4 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

El sudoeste de la provincia de Buenos Aires queda comprendido, por sus características climáticas, en la franja zonal de clima templado, con veranos e inviernos bien marcados y primaveras y otoños moderados (Campo de Ferreras *et al.*, 2004). Los inviernos suelen presentar olas de frío que ocasionan perjuicios a la población y a las actividades económicas en general. Durante los meses de verano es frecuente la ocurrencia de incendios de importantes magnitudes.

Según la clasificación climática realizada por Köppen (que es la que mejor se adapta para el área debido a que se fundamenta en los valores de temperatura, precipitación y considera

indirectamente evaporación y vegetación), la región se clasifica y considera dentro de un clima árido estepario (García, 1967).

El área de estudio, de acuerdo a la clasificación de Burgos y Vidal (1951), es de tipo climático semiárido (Figura 3.4.1), mientras que según lo propuesto por Thornthwaite (1948) el clima en la zona es $C_1 B'_2 d a'$, es decir, subhúmedo (C_1), mesotermal templado frío (B'_2), con un nulo o pequeño exceso de agua (d) y una eficiencia térmica menor al 48% (a'), limitando con el sector semiárido ($D B'_1 d a'$) (Sánchez *et al.* (1998).

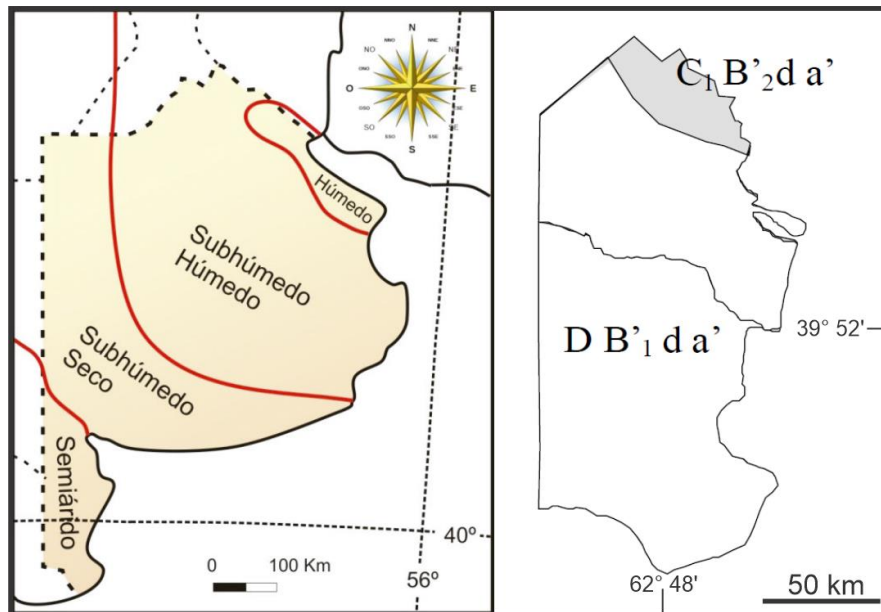


Figura 3.4.1. Izquierda: Tipos climáticos de la provincia de Buenos Aires. Tomado de DIPAC (2017), modificado de Burgos y Vidal (1951), Derecha: Clasificación climática del partido de Villarino según Thornthwaite (Sánchez *et al.*, (1998).

Los datos climáticos que se presentan en esta sección fueron obtenidos a partir de las estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, ubicadas en Médanos, Argerich, Algarrobo e Hilario Ascasubi), del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para la ciudad de Bahía Blanca y de la Corporación de Fomento del Valle Bonaerense (CORFO) para la localidad de Mayor Buratovich, además de contar con datos históricos brindados por ABSA para la localidad de Médanos.

3.4.1 PRECIPITACIONES

La precipitación constituye un elemento meteorológico fundamental debido a su incidencia en todos los procesos climáticos y constituye un criterio esencial de la clasificación climática. El área de estudio se ubica entre las isohietas de 630 mm y 530 mm (Figura 3.4.1.1), mostrando una rápida disminución de las lluvias desde el norte hacia el suroeste.

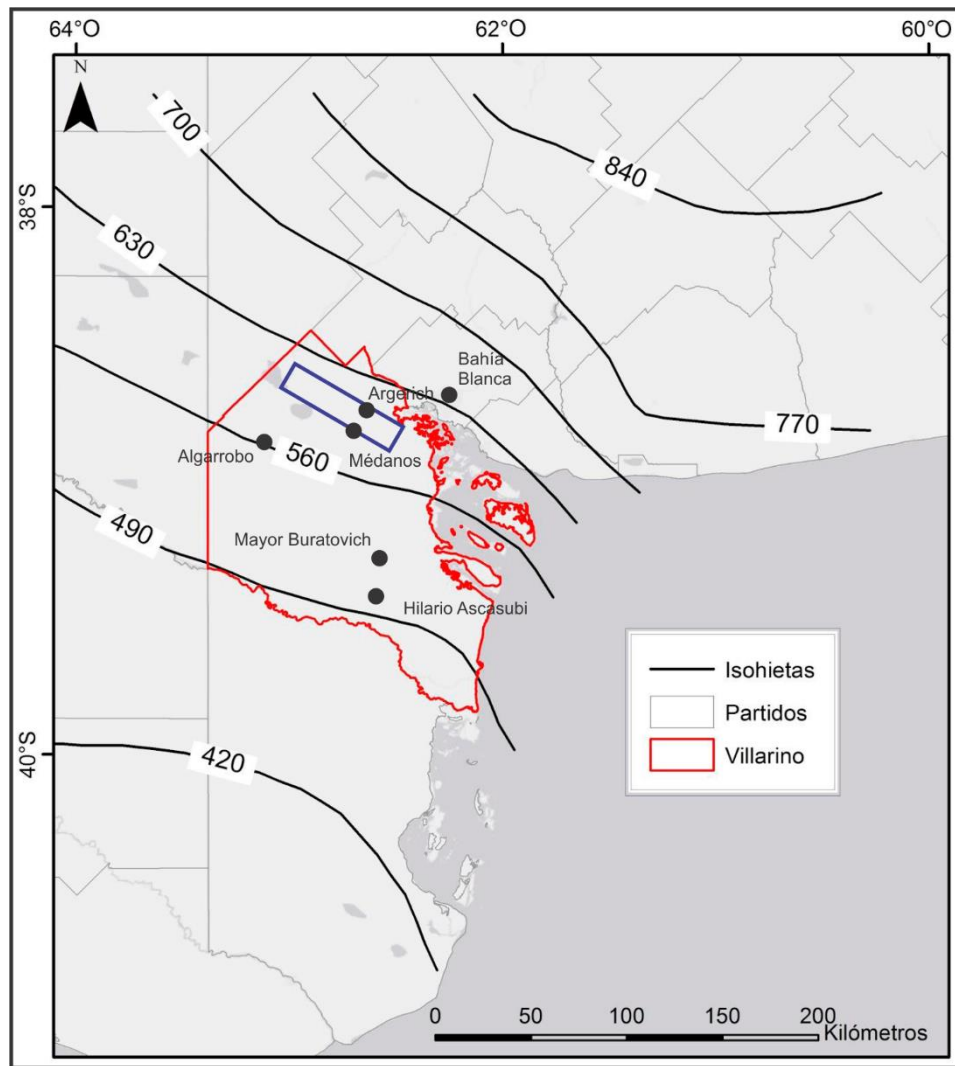


Figura 3.4.1.1. Distribución de isohietas del suroeste de la provincia de Buenos Aires. El recuadro azul indica el área de estudio. Modificado de Rodríguez et al. (2018).

A continuación, se muestran las precipitaciones promedio anuales para diferentes localidades de la zona (Tabla 3.4.1.1).

Tabla 3.4.1.1. Precipitaciones promedio anuales para la zona de estudio (resaltada en negrita) y localidades próximas.

Localidad	Período	Precipitación promedio anual (mm)
Bahía Blanca	1956-2019	732,0
Argerich	1960-1990	606,3
Médanos	1972-2005	546,8
Mayor Buratovich	2014-2020	512,9
Hilario Ascasubi	1967-2015	493,7

Analizando esta tabla se puede observar la ya mencionada disminución de la pluviometría en sentido suroeste. Se puede considerar como los valores más representativos para la zona de estudio los pertenecientes a Médanos, del orden de los 546,8 mm de

precipitación anual promedio, correspondientes a la serie más larga y completa de datos, ya que, si bien Argerich se ubica dentro del área considerada, la serie climática disponible es ligeramente más corta.

A fin de comprobar la homogeneidad y consistencia de los datos, se realizó un contraste de la serie de Médanos mediante el método de doble masa. El mismo consiste en calcular, entre ésta y las series de Bahía Blanca e Hilario Ascasubi, una recta de regresión para un mismo período (Figura 3.4.1.2).

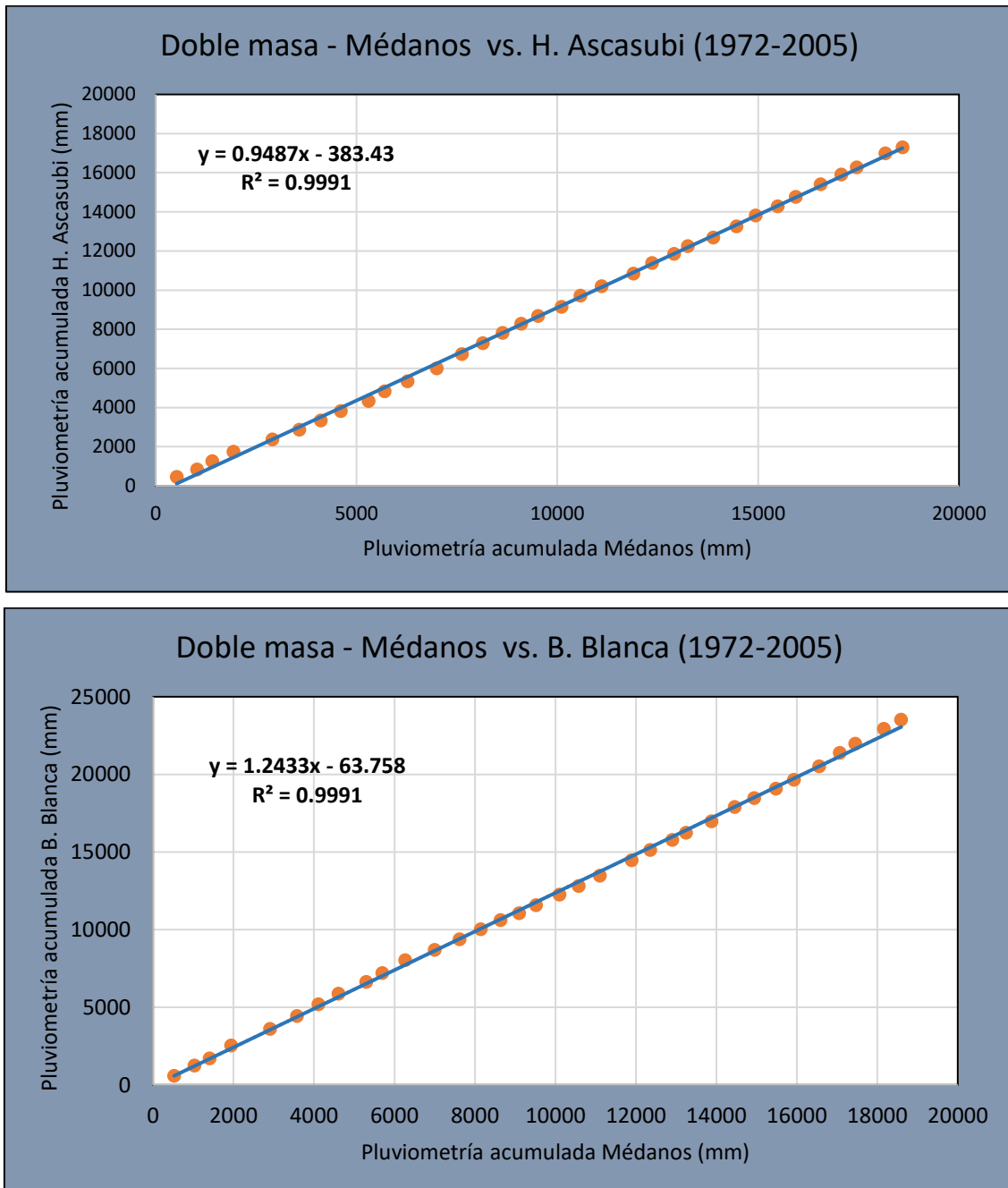


Figura 3.4.1.2. Análisis de doble masa entre la serie pluviométrica de Médanos e Hilario Ascasubi y Bahía Blanca. Las líneas azules indican la línea de tendencia.

Mediante este análisis se logró observar una gran consistencia entre los datos, con índices de correlación (R^2) de 0,9991 en ambos casos, indicando una excelente linealidad entre las medidas de las diferentes estaciones, por lo que se puede inferir la ausencia de errores significativos en las mismas.

Un fenómeno que debe ser tenido en cuenta es la alternancia de períodos secos y húmedos en la región. Se consideran años secos a aquellos años cuya media pluviométrica sea inferior a la media de toda la serie, y viceversa para los años húmedos. De acuerdo a Carrica (1998), estos ciclos presentan en la zona extensiones variables, por lo que los módulos pluviométricos calculados pueden presentar una apreciable diferencia dependiendo de la serie de años considerada.

Analizando la pluviometría anual correspondiente a Médanos (Figura 3.4.1.3), se observa un promedio de lluvias para toda la serie de 546,8 mm, con una leve tendencia negativa. El valor máximo es de 966 mm en 1976, con un mínimo de 340 mm en el año 1995.

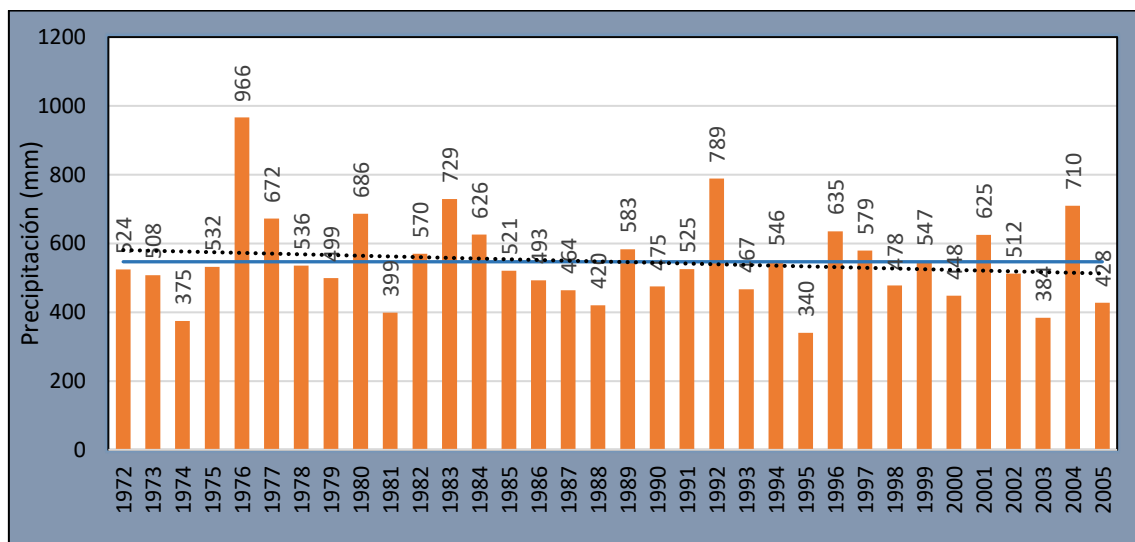


Figura 3.4.1.3. Distribución anual de precipitaciones para Médanos (1972-2005), mostrando el promedio de toda la serie (línea azul) y línea de tendencia (punteada).

El 41% de los años superan la precipitación promedio de la serie (es decir, se los considera años húmedos), mientras que el 59% se encuentran por debajo de la misma (años secos), observándose una clara alternancia cíclica entre ellos que pone de manifiesto la variabilidad climática de la zona, lo cual resalta la importancia de contar con series largas de datos. El desvío estándar para toda la serie es de 128,62 mm, con el 41% de los años en un rango dentro de un desvío estándar con respecto al promedio.

El análisis de la duración de los ciclos húmedos y secos, se realizó a partir de la media móvil de 5 años para la pluviometría de la serie de 1972-2005 (Figura 3.4.1.4).

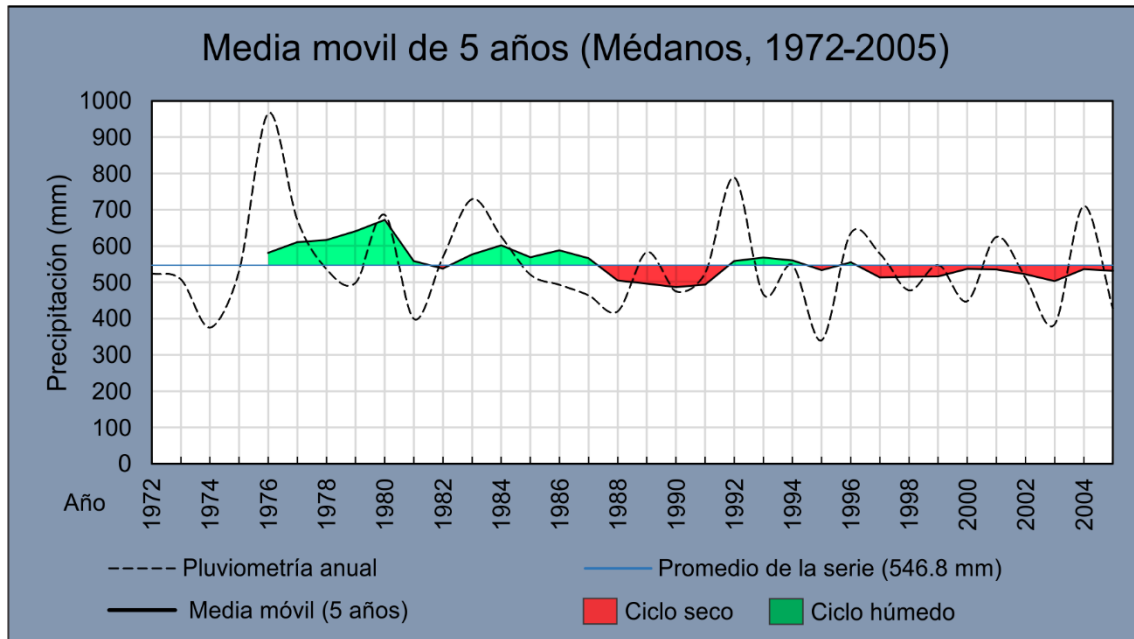


Figura 3.4.1.4. Análisis de la media móvil (período de 5 años) para la pluviometría de la localidad de Médanos.

Al observar el gráfico se distinguen cuatro ciclos húmedos y cuatro secos. El último de ellos, que a su vez es el más extenso, corresponde a un ciclo seco que se inicia en 1996 y se continúa hasta la última lectura disponible en 2005, abarcando como mínimo 15 años, con una precipitación promedio de 534,6 mm, valor muy cercano al promedio de la serie completa.

Si se analiza un histograma con la frecuencia de los eventos de lluvia anuales, tomando intervalos de 100 mm (Figura 3.4.1.5), queda de manifiesto que la mayor cantidad de estos se dan entre los 500 mm y 600 mm (en 12 ocasiones) y entre los 400 mm y los 500 mm (9 ocasiones). El resto de los intervalos presentan en todos los casos frecuencias menores o iguales a 5 eventos, ninguno de ellos ocurrido entre los 800 mm y 900 m.

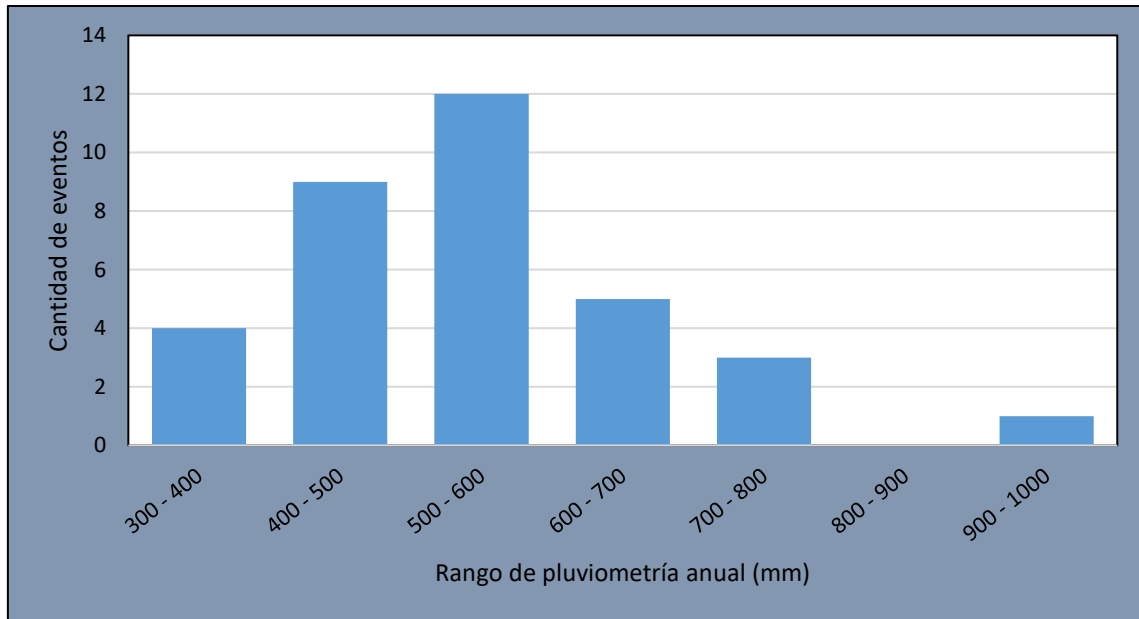


Figura 3.4.1.5. Distribución de frecuencias de rangos de precipitaciones anuales para Médanos (1972-2005).

La distribución a lo largo del año de las lluvias (Tabla 3.4.1.2) muestra para la serie de Argerich de 1960-1990 un mínimo en los meses de mayo y julio, con 20,3 mm y 13 mm respectivamente, mientras que el máximo de lluvias se observa en febrero y marzo, con 95,8 mm y 93,1 mm. El promedio de lluvias mensual es de 50,5 mm. En base a estas observaciones se desprende que las estaciones con mayores precipitaciones corresponden al verano (198,8 mm), otoño (182,8 mm) y primavera (155,1 mm), siendo el invierno la estación marcadamente más seca (69,6 mm).

Tabla 3.4.1.2. Precipitaciones promedio mensuales para Argerich y Médanos.

Precipitaciones promedio (mm)														
Localidad	En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.	Total
Argerich (1960-1990)	51,6	95,8	93,1	69,4	20,3	30	13	26,6	44,2	68,2	42,7	51,4	50,5	606,3
Médanos (1972-2005)	58,8	56,4	78,2	56,8	31,9	20,8	22,5	28,7	40,9	54,2	41,9	55,8	45,6	546,8

Análogamente, las precipitaciones para la serie 1972-2005 de la localidad de Médanos presentan una distribución similar (Figura 3.4.1.6), con un mínimo en los meses de julio y junio, con 22,5 mm y 20,8 mm respectivamente, mientras que el máximo de lluvias se observa en marzo y enero, con 78,2 mm y 58,8 mm. El promedio de lluvias mensual es de 45,6 mm. Las estaciones con mayores precipitaciones corresponden al verano (171 mm), otoño (166,9 mm) y primavera (138,6 mm), con el invierno como la estación más seca (72 mm).

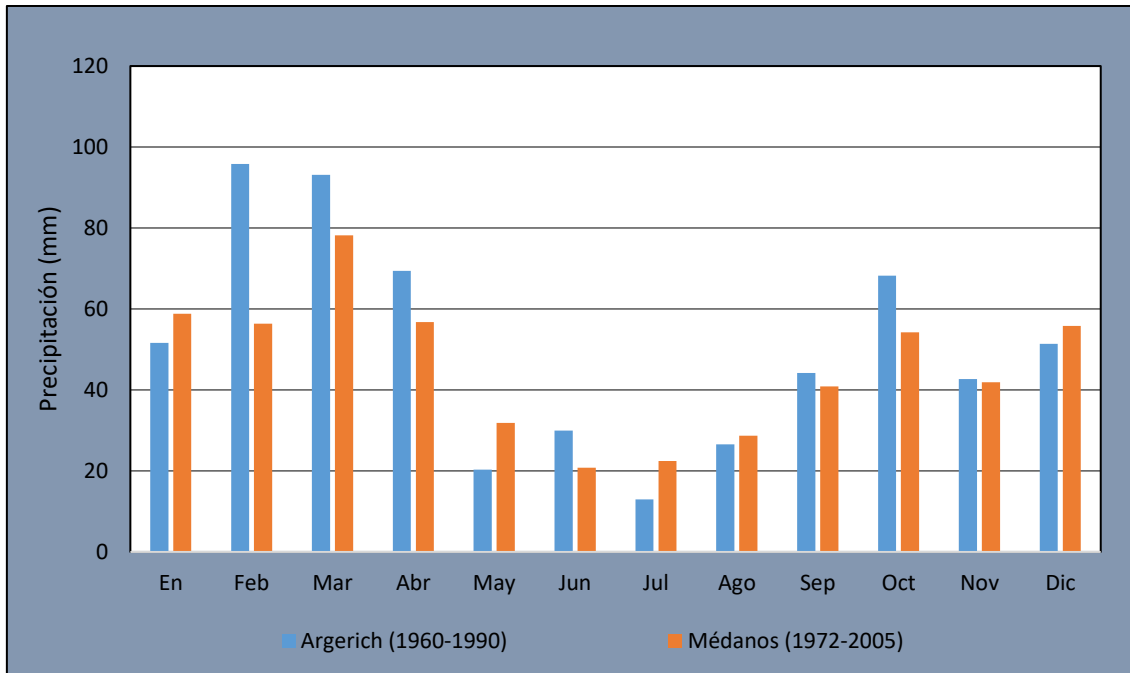


Figura 3.4.1.6. Distribución mensual de precipitaciones promedio para Argerich y Médanos.

Si se observan los promedios, máximos y mínimos mensuales (Tabla 3.4.1.3) de esta última serie, quedan de manifiesto marcadas diferencias entre los meses, donde en todos ellos, exceptuando marzo, en algún momento de toda la serie se registraron precipitaciones nulas, dando cuenta de la ya mencionada variabilidad climática del área (Figura 3.4.1.7).

Tabla 3.4.1.3. Precipitaciones promedio mensuales, máximas y mínimas para Médanos (1972-2005).

	En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Promedio	58,8	56,4	78,2	56,8	31,9	20,8	22,5	28,7	40,9	54,2	41,9	55,8
Máximo	196	187	185	198	82	95	95	137	126	152	202	165
Mínimo	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0

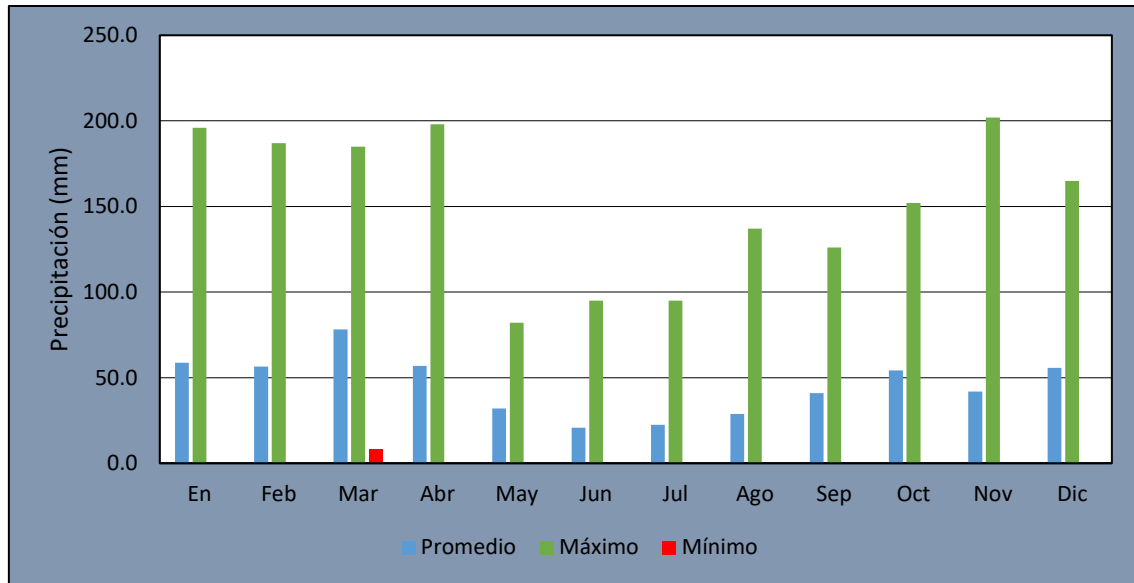


Figura 3.4.1.7. Distribución de precipitaciones promedio mensuales, máximas y mínimas para Médanos (1972-2005).

3.4.2 TEMPERATURA

La variación de la temperatura en la zona septentrional del partido de Villarino corresponde al tipo “continental”, donde las máximas temperaturas se dan en los meses de diciembre, enero y febrero; y las mínimas en junio, julio y agosto. La temperatura media anual es de 14,2 °C, y extremos medios en enero y julio de 22,5 °C y 7 °C, respectivamente (Bonorino, 1979). En Bonorino (1974), el autor indica que, para el área de Médanos, la variación climática estacional presenta una estación fría (invierno) y una cálida (verano), con dos estaciones de transición (otoño y primavera). Los registros térmicos medios no presentan variaciones notables en la región en el último siglo (Lexow y Bonorino, 2012).

A continuación, se presentan los datos del INTA de temperaturas promedio máximas, mínimas y anuales para Médanos y Argerich (ubicadas dentro del área de estudio) y otras localidades cercanas a modo comparativo (Tabla 3.4.2.1). La serie correspondiente a Médanos es de únicamente 5 años ya que la estación meteorológica de la localidad comenzó a operar a fines de 2014 y no se cuenta con datos anteriores, al igual que la perteneciente al CORFO en Buratovich, la cual comenzó a operar a mediados de 2013.

Tabla 3.4.2.1. Temperaturas promedio anuales, máximas y mínimas para localidades del área de estudio y cercanas.

Localidad	Período	Temperatura media anual (°C)	Temperatura máxima promedio (°C)	Temperatura mínima promedio (°C)
Bahía Blanca	1960-1990	15,3	21,9	8,8
Argerich	1960-1990	14,9	22,1	7,7
Médanos	2015-2019	16	24,2	8,9
Mayor Buratovich	2014-2019	14,6	21,8	7,6
Hilario Ascasubi	1960-1990	14,8	21,8	7,7

Se puede observar que las temperaturas son muy similares para las localidades en cuestión, considerando la serie de Argerich (la más larga disponible en el área) como representativa de las características térmicas de la zona de estudio, con una temperatura media anual de 14,9 °C y máximos y mínimos promedios de 22,1 °C y 7,7 °C, respectivamente.

Con respecto a la distribución térmica a lo largo del año (Tabla 3.4.2.2 y Figura 3.4.2.1), la misma es similar entre las tres localidades presentadas, con el máximo promedio en el mes de enero y el mínimo en julio (22,9 °C y 7,9 °C, respectivamente, para Argerich).

Tabla 3.4.2.1. Temperaturas promedio mensuales para Argerich y localidades cercanas.

Temperaturas promedio (°C) - Serie 1960-1990													
Localidad	En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio anual
Bahía Blanca	23,2	22,3	19,3	15,2	11,3	8,3	8,2	9,6	11,9	14,6	18,2	21,7	15,3
Argerich	22,9	20,5	19	14,7	11,6	8	7,9	9,4	11,6	14,1	18,1	21,1	14,9
Hilario Ascasubi	22	21,2	18,8	14,9	10,9	7,9	7,7	9,3	11,6	14,5	17,7	20,5	14,8

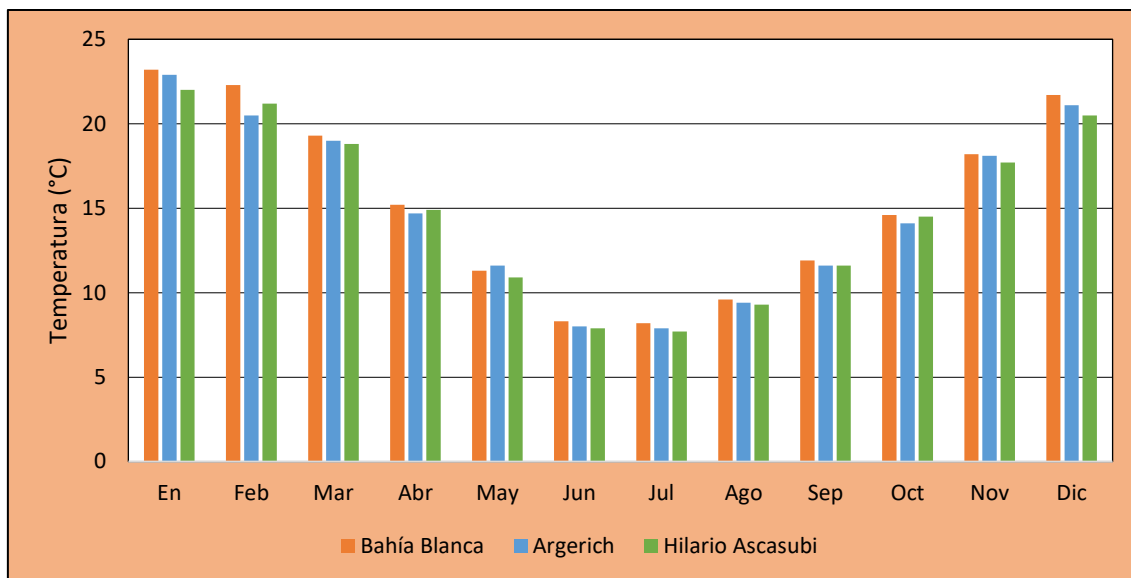


Figura 3.4.2.1. Comparación de temperaturas promedio mensuales entre Bahía Blanca, Argerich e Hilario Ascasubi (1960-1990).

3.4.3 HUMEDAD RELATIVA

La humedad relativa es el contenido de agua en el aire, definida como el porcentaje de saturación del aire con vapor de agua. En la Tabla 3.4.3.1 y Figura 3.4.3.1 se presentan los valores promedios mensuales para el período 2015-2019 de la localidad de Médanos y el período 1966-2008 de la localidad de Hilario Ascasubi.

Tabla 3.4.3.1. Humedad relativa promedio (%).

	En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio anual
H. Ascasubi (1966-2008)	57	60	67	68	73	75	72	67	64	63	58	57	65
Médanos (2015-2019)	50	59	63	74	85	79	80	70	67	68	60	50	67

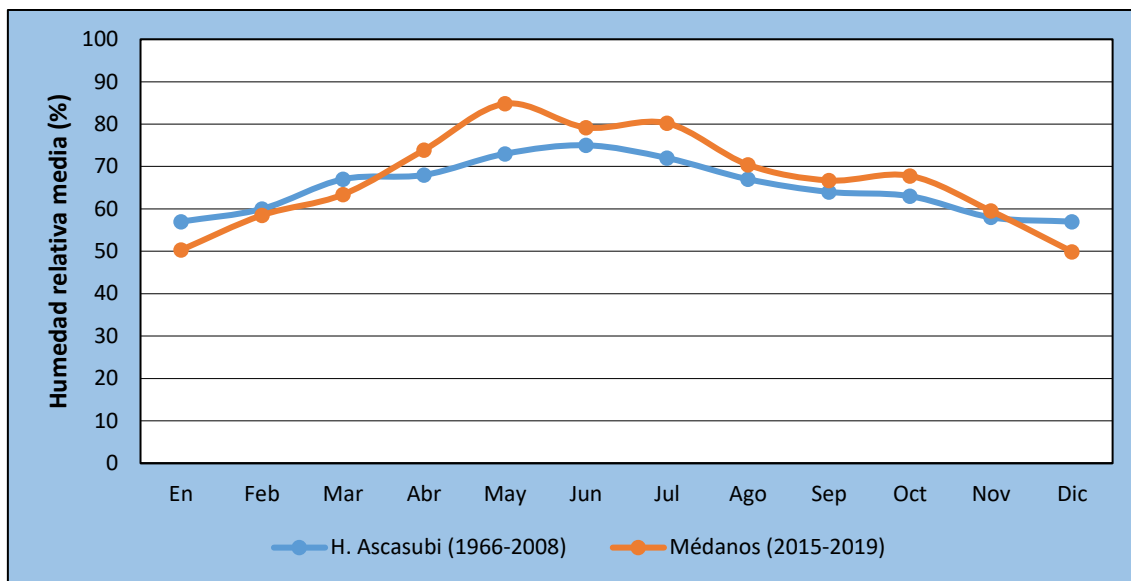


Figura 3.4.3.1. Comparación de humedad relativa promedio mensual.

Se observan valores de humedad relativa muy similares para ambas localidades, entre 50% y 85%, con los valores más altos de abril a agosto y los más bajos entre diciembre y enero, coincidiendo con los meses más frescos y más cálidos, respectivamente.

3.4.4 VIENTOS

En la Tabla 3.4.4.1 y Figura 3.4.4.1 se presentan los datos de los valores promedios mensuales de la localidad de Hilario Ascasubi para el período 1966-2008. No se cuenta con series de longitud aceptable para Argerich o Médanos, sin embargo, pueden tomarse los datos aquí presentados como representativos de la zona de estudio, al ser parte de su área de influencia.

Tabla 3.4.4.1. Velocidad promedio del viento medida a 2 m del suelo.

Velocidad promedio del viento (km/h) - Serie 1966-2008													
Localidad	En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio anual
Hilario Ascasubi	9,6	9,3	8,2	8	7,4	8,5	9	9,1	9,9	9,4	9,6	10	9

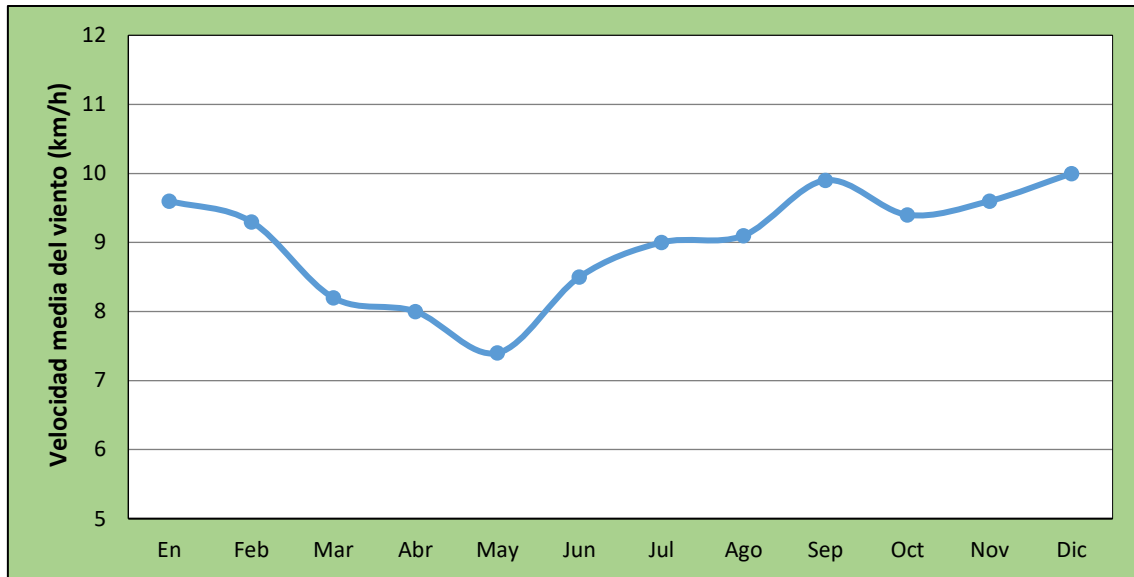


Figura 3.4.4.1. Velocidad promedio mensual del viento, medida a 2 m del suelo. Estación INTA Hilario Ascasubi. Período 1966-2008.

Se observan velocidades medias entre 7,4 y 10 km/h, con máximos en diciembre y mínimos en el mes de mayo. De acuerdo a Scian (2010), la dirección predominante del viento en la zona es NO y O durante los meses de invierno, mientras que durante el verano se nota un incremento en los vientos provenientes del E.

3.4.5 EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evapotranspiración (ET) se define como la suma de dos procesos individuales: evaporación (pérdida de agua desde la superficie) y transpiración (pérdida de agua desde el tejido vegetal, principalmente a través de sus hojas). Ya que estos dos procesos ocurren simultáneamente, no hay manera simple de distinguir entre ambos (Allen *et al.*, 1998), por lo que, desde un punto de vista hidrológico, suelen agruparse en uno solo, la evapotranspiración, la cual es medible y cuantificable mediante diferentes métodos, tanto empíricos como matemáticos.

Thornthwaite (1948) introduce el término evapotranspiración potencial (ETP), definiéndolo como la máxima cantidad de agua que puede evaporar el suelo y transpirar las plantas en condiciones ideales (con un suelo a capacidad de campo y una cubierta vegetal con un desarrollo óptimo). Debido a que estas condiciones no siempre se cumplen, se emplea el término evapotranspiración real (ETR), el cual expresa la cantidad de agua que efectivamente se evapora y transpira en las condiciones dadas en el lugar en un momento determinado. Cabe aclarar que la ETR puede ser igual o menor a la ETP, pero nunca mayor.

Para los cálculos realizados, se utilizaron como datos de temperatura los pertenecientes a la serie 1960-1990 de Argerich, por ser los más extensos disponibles y a su vez para obtener una mejor comparación con aquellos correspondientes a las medidas de evapotranspiración física en tanque de evaporación Tipo A en la misma localidad.

3.4.5.1 CÁLCULO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

Método de Thornthwaite (1948)

Como primer paso para el cálculo de la ETP mediante este método, se define un índice de calor mensual (i) a partir de la temperatura media diaria del mes (t , en °C).

$$I = (t/5)^{1,514}$$

Luego, utilizando este índice, se calcula un índice de calor anual (I) mediante la sumatoria de los 12 meses del año:

$$I = \sum i$$

Utilizando el I obtenido anteriormente, se calcula la ETP mensual (mm/mes) para meses de 30 días y 12 horas de sol (sin corregir):

$$E = 16(10t/I)^a$$

Donde E es la ETP media sin corregir (mm/mes), t es la temperatura media diaria del mes (t , en °C), I es el índice de calor anual y $a = (675 \cdot 10^{-9} I^3) - (771 \cdot 10^{-7} I^2) + (1792 \cdot 10^{-5} I) + 0,49239$.

Este valor de ε debe ser corregido para cada mes en particular teniendo en cuenta la duración real del mismo y el número máximo de horas de sol de acuerdo a la latitud en el área de acuerdo a la fórmula:

$$ETP_c = \varepsilon \cdot ((N/12) \cdot (d/30))$$

Donde ETP_c es la ETP mensual media corregida (en mm/mes), N es el número máximo de horas de sol de acuerdo a la latitud (obtenido a partir de tablas), y d es el número de días del mes.

A fin de agilizar y facilitar los cálculos, los valores de i ya se pueden encontrar tabulados, como así también los valores de ε en función de I y t .

Utilizando los datos de temperatura ya mencionados para la localidad de Argerich para la serie 1960-1990 y las fórmulas descriptas se obtienen los valores de ETP para el área de estudio (Tabla 3.4.5.1.1).

Tabla 3.4.5.1.1. Cálculos de ETP mediante la aplicación de la fórmula de Thornthwaite.

Mes	t (°C)	i	ε (mm/mes)	ε (mm/día)	ETP (mm/día)	ETP (mm/mes)
Enero	22,9	10,01	107,89	3,48	4,32	133,79
Febrero	20,5	8,47	91,11	3,25	3,39	94,96
Marzo	19	7,55	81,14	2,62	2,77	85,94
Abril	14,7	5,12	54,84	1,83	1,68	50,27
Mayo	11,6	3,58	38,20	1,23	1,05	32,56
Junio	8	2,04	21,66	0,72	0,57	16,97
Julio	7,9	2,00	21,25	0,69	0,57	17,57
Agosto	9,4	2,60	27,71	0,89	0,81	25,05
Septiembre	11,6	3,58	38,20	1,27	1,25	37,56
Octubre	14,1	4,80	51,46	1,66	1,86	57,60
Noviembre	18,1	7,01	75,34	2,51	2,95	88,53
Diciembre	21,1	8,85	95,22	3,07	3,86	119,71
I = 65,6					ETP Anual = 760,51 mm/año	

Mediante la suma de las ETP mensuales se obtiene un valor de **ETP de 760,51 mm/año.**

Método de Penman-Monteith

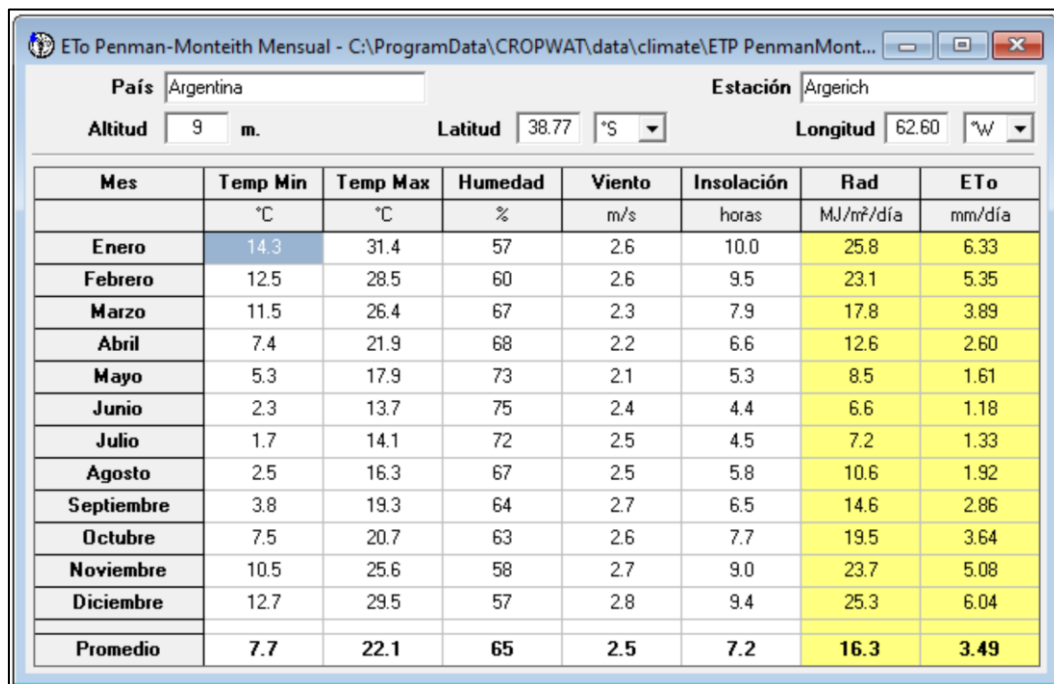
Para el cálculo de la ETo (evapotranspiración de referencia) según esta metodología se utilizó la aplicación CROPWAT 8.0 (FAO, 2008). El cultivo de referencia está representado por una pastura uniforme de 12 cm de altura, una resistencia superficial de 70 s/m y un albedo de 0.23 o 0.25. Los datos de entrada que requiere el programa para realizar el cálculo son:

- Temperatura máxima y mínima mensual (°C).
- Humedad relativa (%).
- Velocidad del viento a 2 m de altura (m/s o km/día).
- Horas de insolación por día.
- Intensidad de la radiación solar (MJ/m²/día).

La aplicación puede calcular las horas de insolación y la radiación solar a partir de la ubicación de la estación meteorológica ingresada. Incluso, puede estimar también humedad y velocidad de viento, por lo que es posible obtener un valor de ETo a partir únicamente de datos

de temperatura, aunque esto incluye varias simplificaciones y estimaciones y se desaconseja fuertemente.

Para el cálculo se utilizaron las temperaturas mínimas y máximas de Argerich para la serie 1960-1990. Al no disponer de datos de humedad, viento y horas de sol para esta localidad, se utilizaron los obtenidos de la estación meteorológica del INTA Hilario Ascasubi para el mismo período, representativos del área. El resultado obtenido de ETo se da en mm/día (Figura 3.4.5.1.1), y al multiplicarlo por los días del mes correspondiente se obtiene la ETo mensual y mediante la suma de estos, la ETo anual (Tabla 3.4.5.1.2).



Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento m/s	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero	14.3	31.4	57	2.6	10.0	25.8	6.33
Febrero	12.5	28.5	60	2.6	9.5	23.1	5.35
Marzo	11.5	26.4	67	2.3	7.9	17.8	3.89
Abril	7.4	21.9	68	2.2	6.6	12.6	2.60
Mayo	5.3	17.9	73	2.1	5.3	8.5	1.61
Junio	2.3	13.7	75	2.4	4.4	6.6	1.18
Julio	1.7	14.1	72	2.5	4.5	7.2	1.33
Agosto	2.5	16.3	67	2.5	5.8	10.6	1.92
Septiembre	3.8	19.3	64	2.7	6.5	14.6	2.86
Octubre	7.5	20.7	63	2.6	7.7	19.5	3.64
Noviembre	10.5	25.6	58	2.7	9.0	23.7	5.08
Diciembre	12.7	29.5	57	2.8	9.4	25.3	6.04
Promedio	7.7	22.1	65	2.5	7.2	16.3	3.49

Figura 3.4.5.1.1. Salida de CROPWAT con los datos para el área de estudio.

Tabla 3.4.5.1.2. Resultados de cálculo de ETP mediante la aplicación CROPWAT.

	En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ETP (mm/día)	6,3	5,35	3,89	2,6	1,61	1,18	1,33	1,92	2,86	3,64	5,08	6,04
ETP (mm/mes)	195,3	150	120,59	78	49,91	35,4	41,23	59,52	85,8	112,84	152,4	187,24
ETP Anual = 1268,03 mm/año												

Los cálculos con la aplicación de la fórmula de Penman-Monteith mediante CROPWAT arrojan una **ETP de 1268,03 mm/año**.

Método de Hargreaves y Samani

La fórmula para el cálculo de la ETP mediante esta metodología es una alternativa simplificada propuesta por Hargreaves y Samani (1985), basada en la ecuación original de este primer autor, y su expresión es:

$$ETP_{HS} = 0,0023 * Ra * (T_{media} + 17,78) * (T_{max} - T_{min})^{0,5}$$

Donde ETP_{HS} es la ETP diaria en mm/día, Ra es la radiación solar extraterrestre en mm/día, T_{media} es la temperatura media en °C, T_{max} es la temperatura máxima en °C y T_{min} la temperatura mínima en °C.

Adicionalmente, Almorox *et al.* (2012) llevaron a cabo una calibración del modelo de Hargreaves para la localidad de Coronel Dorrego, situada 100 km al E del área de estudio y a una latitud prácticamente idéntica. Según los autores la misma queda definida como:

$$ETP_{HCal} = 0,00206 * Ra * (T_{media} + 17,8) * (T_{max} - T_{min})^{0,49}$$

Los resultados obtenidos con ambas fórmulas se presentan en la Tabla 3.4.5.1.3. Para el cálculo se utilizaron las temperaturas medias, máximas y mínimas de cada mes en Argerich para el período 1960-1990, mientras que la radiación solar extraterrestre se obtuvo a partir de datos tabulados por la FAO para el 15avo día de cada mes según la latitud de la zona de estudio.

Tabla 3.4.5.1.3. Resultados de cálculo de ETP mediante la fórmula de Hargreaves y Samani y la calibración propuesta.

	Fórmula original		Fórmula calibrada	
	ETP diaria (mm/día)	ETP mensual (mm/mes)	ETP diaria (mm/día)	ETP mensual (mm/mes)
Enero	6,85	212,47	6,14	190,39
Febrero	5,51	154,15	4,93	138,14
Marzo	4,17	129,32	3,74	115,89
Abril	2,65	79,42	2,37	71,17
Mayo	1,60	49,62	1,43	44,47
Junio	1,09	32,73	0,98	29,33
Julio	1,23	38,16	1,10	34,20
Agosto	1,86	57,74	1,67	51,75
Septiembre	2,99	89,75	2,68	80,44
Octubre	3,87	119,83	3,46	107,39
Noviembre	5,48	164,33	4,91	147,27
Diciembre	6,66	206,61	5,97	185,15
Anual		1334,13		1195,60

Mediante la suma de las ETP mensuales se obtiene un valor de **ETP de 1334,13 mm/año** con la ecuación original y de **1195,60 mm/año** con la calibración propuesta por

Almorox *et al.* (2012). Es destacable la similitud de ambos valores con el obtenido mediante el Método de Penman-Monteith.

Medida física en tanque tipo A

La evaporación física fue medida en la localidad de Argerich para el período 1946-1965 (Edison Consult, 1967).

La medición fue tomada en un tanque tipo "A", de 1,22 m de diámetro, con una sección evaporante de 1,17 m², realizando medidas diarias de evaporación mediante lecturas con tornillo milimétrico. Estos valores obtenidos fueron reducidos aplicando un coeficiente de 0,7 para obtener la evaporación equivalente en un cuerpo de agua libre para posteriormente aplicarles los coeficientes reductores de Penman (*f*) según el mes del año, a fin de obtener la ETP (Tabla 3.4.5.1.4).

Tabla 3.4.5.1.4. Valores de ETP promedio mensuales y anual para la localidad de Argerich.

	En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
ETP													
promedio	161	119	86	51	25	16	19	31	50	77	124	149	908
(mm)													

Mediante este método de medición se obtuvo una **ETP promedio de 908 mm/año**.

En base a los 4 métodos para el cálculo de la ETP (Tabla 3.4.5.1.5), se obtienen **valores entre 1334,13 y 908 mm/año** para la zona de estudio, dependiendo de la metodología utilizada. Estos valores son consistentes por los obtenidos por Bonorino (1974) y Bonorino (1979) para el área.

Tabla 3.4.5.1.5. Valores de ETP calculados de acuerdo a los diferentes métodos.

Método	ETP (mm/año)
Thornthwaite	760,51
Penman-Monteith	1268,03
Hargraeves-Samani	1334,13
Hargreaves (calibrada por Almorox <i>et al.</i>, 2012)	1195,60
Tanque tipo A	908

De acuerdo a Ocampo y Rivas (2011), las metodologías de Penman-Monteith y de Hargraeves (y, por extensión, la calibración de la misma llevada a cabo por Almorox *et al.*, 2012) proporcionan valores confiables y precisos de ETP en climas áridos y semiáridos, tal como el caso de estudio.

3.4.5.2 CÁLCULO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL

Método de Turc

A partir del análisis de más de 250 cuencas, distribuidas en todos los climas del mundo, Turc definió la expresión para el cálculo de la ETR como (Remenieras, 1974; Custodio y Llamas, 1983):

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

Donde ETR es la evapotranspiración real en mm/año, P es la precipitación anual media en el área (mm/año) y $L=300+25T+0,05T^3$ (siendo T la temperatura media anual en °C).

Dada una $P=546,8$ mm/año y una $T=14,9$ °C (valores promedio para Médanos y Argerich respectivamente, descriptos con anterioridad), mediante esta fórmula se obtiene una **ETR de 474,87 mm/año.**

Método de Coutagne

Coutagne propuso el cálculo de la ETR a partir de la precipitación media anual y la temperatura media anual, ésta última mediante un factor λ . La fórmula queda definida como:

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

Donde ETR es la evapotranspiración real en m/año, P es la precipitación anual media en el área (m/año) y $\lambda=1/(0,8+0,14T)$, donde T es la temperatura media anual en °C. La fórmula es válida para valores de P comprendidos entre $1/8\lambda$ y $1/2\lambda$.

Dada una $T=14,9$ °C, se obtiene $\lambda= 0,34$. Siendo $P=0,5468$ m/año, el método es aplicable.

Al aplicar la fórmula, se obtiene una **ETR de 443,20 mm/año.**

Balance de agua en el suelo (Thornthwaite y Mather, 1955)

Este método se basa en calcular la ETR a partir de considerar el suelo como un medio que toma o cede agua de acuerdo a las precipitaciones, su capacidad de almacenaje de agua (capacidad de campo) y la ETP, calculando de esta manera excesos y déficits para el período tenido en cuenta.

Para el balance realizado (Tabla 3.4.5.2.1), de paso mensual, se tomaron las precipitaciones promedio mensuales para la localidad de Argerich utilizadas anteriormente, la

ETP para el mismo período calculada mediante la fórmula de Thornthwaite y una reserva de agua inicial en el suelo igual a cero. Se consideró un suelo de textura arenosa con una capacidad de campo de 24 mm y una retención específica de 8%, con una profundidad radicular promedio de 30 cm (Geological Survey Water-Supply Paper 1839 D, 1967; Sánchez *et al.*, 1998).

Tabla 3.4.5.2.1. Balance de agua en el suelo (paso mensual).

(mm)	En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
P	58,80	56,40	78,20	56,80	31,90	20,80	22,50	28,70	40,90	54,20	41,90	55,80	546,80
ETP	133,79	94,96	85,94	50,27	32,56	16,97	17,57	25,05	37,56	57,60	88,53	119,71	760,51
R	0	0	0	6,53	5,87	9,70	14,63	18,28	21,62	18,22	0	0	-
ΔR	0	0	0	6,53	-0,66	3,83	4,93	3,65	3,34	-3,40	-18,22	0	-
Ex	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	74,99	38,56	7,74	0	0,66	0	0	0	0	3,40	46,63	63,91	235,89
ETR	58,80	56,40	78,20	50,27	31,90	16,97	17,57	25,05	37,56	54,20	41,90	55,80	524,62

A partir de este balance se obtiene una **ETR de 524,62 mm/año.**

Analizando la tabla, se puede observar que, durante los meses de abril a octubre, el suelo se encuentra con una reserva de agua apreciable, la cual es evapotranspirada en noviembre. En enero, febrero, marzo, mayo, octubre, noviembre y diciembre se observa déficit hídrico, sin llegar a haber excesos a lo largo del año, ya que el suelo nunca llega a capacidad de campo. Estas condiciones se corresponden a grandes rasgos con las temperaturas más cálidas y frescas, respectivamente, a lo largo del año (Figura 3.4.5.2.1).

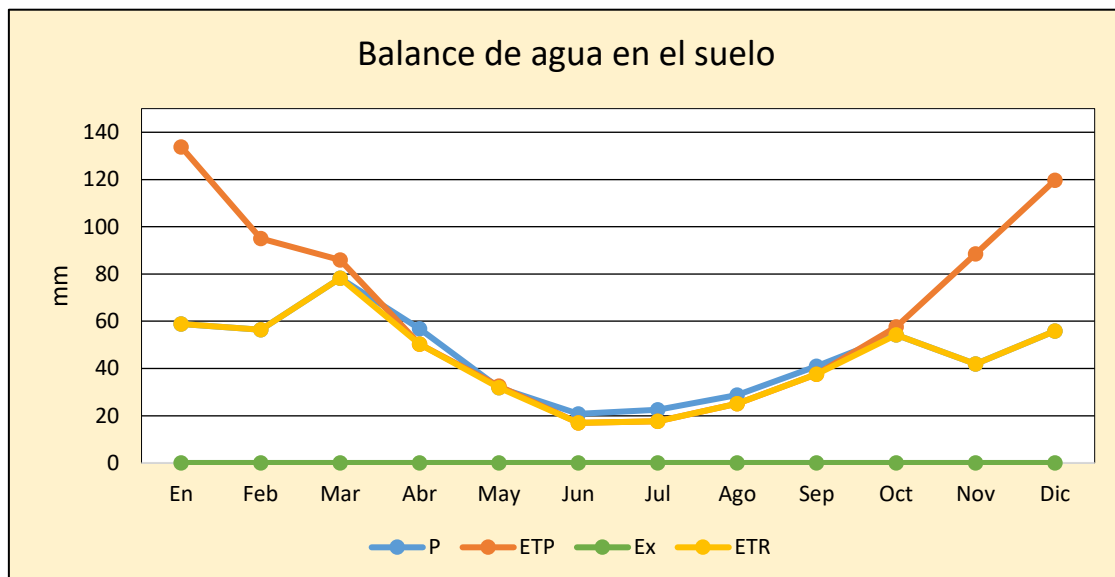


Figura 3.4.5.2.1. Parámetros usados en el balance de agua con respecto a los meses del año.

El balance de agua de paso mensual tiende a subestimar los excesos hídricos, más aún en climas semiáridos con bajo a nulo escurrimiento superficial como el caso de estudio (Carrica *et al.*, 2018), por lo tanto, los excesos hídricos y la ETR calculada son meramente orientativos, a

finés de utilizar como comparación con los otros métodos utilizados. En la sección 8.1.1 (estimación de la recarga) se formula el balance hídrico en el suelo a paso diario.

En base a los 3 métodos para el cálculo de la ETR (Tabla 3.4.5.2.2), se obtienen **valores entre 443,20 y 524,62 mm/año**, dependiendo de la metodología utilizada.

Tabla 3.4.5.2.2. Valores de ETR calculados de acuerdo a los diferentes métodos.

Método	ETR (mm/año)
Método de Turc	474,87
Método de Coutagne	443,20
Balance de agua en el suelo	524,62

Si se comparan con los calculados por Bonorino (1974) y Bonorino (1979), se puede apreciar una gran consistencia entre los valores de este autor y los aquí presentados.

CAPÍTULO 4: MEDIO FÍSICO

4.1 GEOLOGÍA

En la llanura Pampeana Chaco-bonaerense únicamente existen afloramientos de rocas antiguas en la Sierras de Ventana y Tandil, que desde un punto de vista de la estructura geológica representan elementos positivos. En el resto de la región se reconocen cuencas sedimentarias (elementos estructurales negativos), cuya historia geológica es relativamente semejante dentro de términos generales (Zambrano, 1974). En su gran mayoría, las Formaciones que se describen a continuación están ocultas en el subsuelo, por lo que la interpretación se basa en los estudios hechos sobre muestras de perforaciones y en la eventual interpretación de datos geofísicos (Kruse y Zimmermann, 2002).

Geológicamente, el área de estudio queda incluida dentro de la sección nororiental de la Cuenca del Colorado (Figura 4.1.1), la cual se desarrolla en la parte sur de la llanura Chaco-bonaerense y cuenta con un espesor promedio de 2500 metros, llegando hasta un máximo de 7000 metros de relleno sedimentario. La misma limita al Norte con el sistema de Ventania, por el Oeste con el Bloque Las Mahuidas y al Sur con el Macizo de Somún-Curá, mientras que hacia el Este llega hasta el talud continental. De acuerdo a Gerster *et al.* (2011), se define como una cuenca de rift.

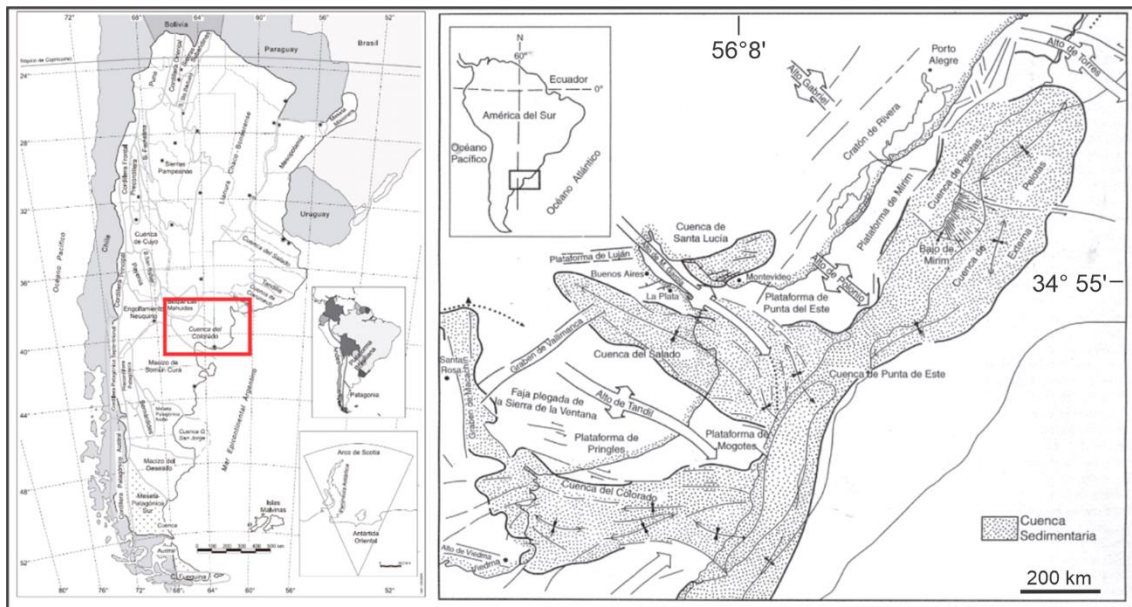


Figura 4.1.1. Izquierda: Provincias geológicas de la República Argentina, modificado de Caminos (1999). En el recuadro en rojo se resalta la cuenca en la que queda incluida el área de estudio. Derecha: elementos estructurales principales, modificado de Urien *et al.* (1981).

De acuerdo a Caminos (1999), el basamento de la cuenca lo constituyen los depósitos paleozoicos de Ventania. Su relleno inicial está compuesto por depósitos psefíticos gruesos de origen continental que infrayacen a areniscas y pelitas de edad cretácica. Estos depósitos

registran algunas intercalaciones de depósitos marinos. Esta secuencia yace en discordancia por debajo de las pelitas de la ingresión paleocena. Los depósitos marinos de la plataforma clástica, de edad principalmente miocena, progradan sobre los anteriores cubriendo la mayor parte de la cuenca.

Su origen está vinculado a procesos de fracturación extensional que tuvieron lugar sobre primitivas zonas de debilidad y su estructura está mayormente asociada a las facies de rift, con un notable fallamiento extensional de rumbo oeste-noroeste. Los depósitos posteriores sólo tienen estructuras producidas por reactivaciones menores de las fallas extensionales, debido principalmente a una compactación diferencial de las facies más pelíticas (Juan *et al.*, 1996).

4.1.2 ESTRATIGRAFÍA

El basamento cristalino sobre el que apoya la secuencia deposicional que rellena la cuenca está constituido por un complejo ígneo-metamórfico de edad Precámbrica-Paleozoica (Grupo Ventana), en general compuesto por metasedimentos de bajo grado (Yrigoyen, 1999). Costas afuera, el pozo de YPF Puelche x-1 alcanzó estas rocas por debajo de capas rojas neocomianas, atravesando 1140 metros de lutitas negras y 483 metros de diamictitas, al parecer correspondientes a depósitos lagunares intracratónicos de edad Pérmica. Por otro lado, la perforación AC-24 ubicada unos 5 km al oeste del centro de Bahía Blanca tocó cuarcitas a 724 m.b.b.p. (metros bajo boca de pozo) en posición correspondiente a un alto estructural.

El relleno sedimentario, que apoya en una fuerte discordancia angular sobre el basamento (como se puede observar en el esquema de la Figura 4.1.2.1), comienza con los depósitos de Fm. Fortín, asignada al Cretácico temprano, pudiendo llegar su techo hasta el Turoniano, compuesta por areniscas cuarzosas y lutitas depositadas en un ambiente de llanura aluvial madura. Su profundidad se situaría por debajo de los 1500 m.b.n.m. (metros bajo el nivel del mar) en zonas en que el basamento se profundiza más allá de esa cota (Bonorino, 1988).

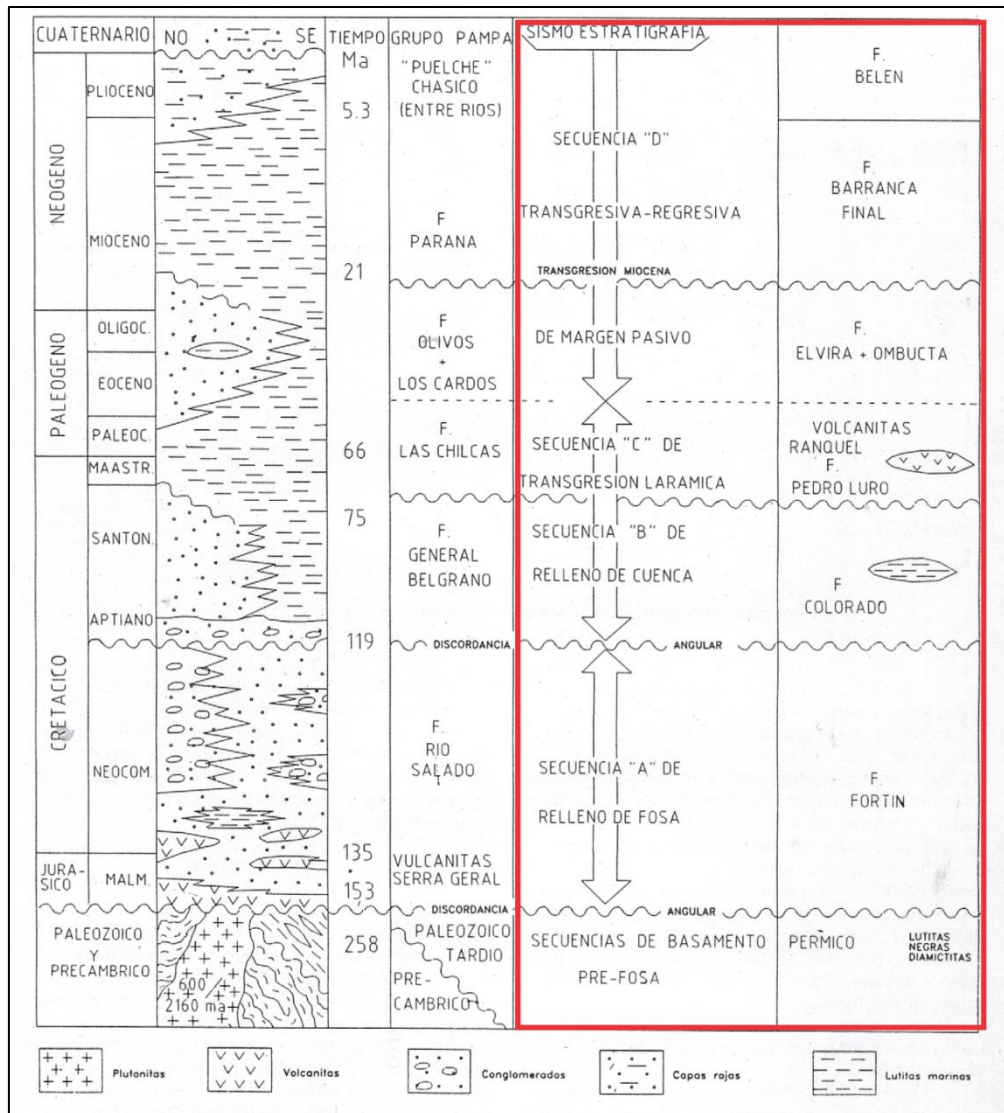


Figura 4.1.2.1. Esquema estratigráfico generalizado de la cuenca del Colorado (recuadro rojo). Modificado de Yrigoyen, 1999.

Apoyando concordantemente, aunque en ocasiones en discordancia angular, sobreyace la Fm. Colorado, de edad Cretácica Media a Superior, constituida por sedimentos con carácter de red-beds (areniscas gruesas y conglomerádicas, a veces tobáceas), acumuladas en un ambiente de llanura aluvial (Zambrano, 1980). Niveles muy compactos alcanzados en Bahía Blanca a partir de los 800 m.b.n.m. podrían corresponder a esta Formación, con un espesor máximo de 1925 metros alcanzados en el pozo Ranquel x-1 (Yrigoyen, 1999).

La secuencia continúa con los sedimentos de la Fm. Pedro Luro, apoyando en discordancia erosiva, depositados en un ambiente marino profundo producto de una transgresión marina regional durante el final del Cretácico. Se trata de lutitas, arcilitas calcáreas, calizas arcillosas y calizas arenosas. Algunas perforaciones profundas del área de Bahía Blanca han alcanzado a esta Formación entre los 642 y 764 m.b.n.m., llegando a un espesor máximo de 288

metros en el pozo Ballena x-1, estando en ocasiones ausente en otros sondeos vecinos más cercanos a la costa (Yrigoyen, 1999).

En la porción media de la cuenca los pozos YPF Ranquel y Puelche pusieron de manifiesto la presencia de un episodio efusivo localizado denominado Fm. Ranquel. Se trata de tobas y coladas basálticas que se expanden sobre la Fm. Pedro Luro, alcanzando espesores entre 340 y 380 metros (Yrigoyen, 1999). Dataciones radimétricas del INGEIS sobre un testigo corona del basalto Ranquel han certificado una edad Paleocena de 66 ± 3 M.a. (Lesta *et al.*, 1979).

Por sobre los depósitos anteriormente mencionados, se encuentran depósitos transicionales y red-beds de carácter regresivo, denominados Fm. Elvira y Fm. Ombucta, que llegan a los 800 metros de espesor en conjunto. La primera se trata de sedimentos de edad Eocena Media a Superior, constituidos por sedimentos finos con intercalaciones de bancos de caliza. Lateralmente hacia el continente se encuentran los depósitos de la Fm. Ombucta, de edad Eocena-Oligocena (Bonorino, 1988), compuestos por areniscas, arcillas yesíferas y tobas intercaladas, depositadas en un ambiente de llanura aluvial. Perforaciones profundas realizadas en la zona de Bahía Blanca la han atravesado total o parcialmente, ubicándose su techo entre los 406 y 500 m.b.n.m. y mostrando espesores de alrededor de 500 metros.

El techo de la Fm. Ombucta es transicional a la Fm. Barranca Final, reconocida en la región como "Mioceno Verde" o Entrerriense (Kaaschieter, 1965 en Bonorino, 1988). Se trata de sedimentos que se depositan producto de una transgresión marina durante el Mioceno Temprano a Medio (Yrigoyen, 1999). La unidad está compuesta por arcillas y arcilitas arenosas de plataforma, que llegan, según perforaciones, a un espesor máximo registrado de 792 metros, con su techo a profundidades entre 130 m.b.n.m. (perforación de García del Río) y 200 m.b.n.m. (en Bahía Blanca).

La parte superior de la Fm. Barranca Final pasa transicionalmente a la Fm. Chasicó (Mioceno Superior-Plioceno Inferior). Definida originalmente por Pascual (1961) y analizada en detalle por Fidalgo *et al.* (1978), fue subdividida en dos miembros: Miembro Vivero (inferior) y Miembro Las Barrancas (superior), aunque no establecieron con precisión sus diferencias. Más recientemente, Zárate *et al.* (2007) desestimaron esta subdivisión y precisaron una edad para la secuencia de 8,7 a 10 M.a. (mediante $\text{Ar}^{40}/\text{Ar}^{39}$ sobre vidrios de impacto). La unidad está compuesta por sedimentos fluviales y de llanura aluvial madura, probablemente con participación eólica: limos calcáreos y yesíferos de color rojizo, con intercalaciones de arenas y gravas con material volcanoclástico (basalto, andesitas y plagioclasa) y vidrio (cuyo porcentaje es normalmente inferior al 15%). La secuencia muestra una tendencia grano-decreciente hacia su techo, con niveles de paleosuelos intercalados en la sucesión. Su contenido de carbonato de

calcio puede llegar a ser muy abundante, dando lugar a la formación de capas de tosca (Bonorino, 1974) y coladas verticales, encontrándose en ocasiones además rosetas de yeso. Perforaciones realizadas en la zona muestran espesores para esta unidad de hasta 200 metros, con un abundante registro fósil de mamíferos. En general se la puede considerar lateral y equivalente a la Fm. Cerro Azul (provincia de La Pampa) (Folguera y Zárate, 2009).

Hacia el norte del Salitral de la Vidriera esta unidad pasa transicionalmente a los denominados "sedimentos pampeanos" (Fidalgo *et al.*, 1975), de edad Mioceno Tardío-Plioceno Alto (De Francesco, 1992a), los cuales alojan el acuífero libre de la región circundante a Bahía Blanca. Estos sedimentos (limos, loess y loess arenosos, color castaño rojizo, de origen eólico y cementados por carbonato de calcio) reciben diferente denominación de acuerdo al área y autores (Fm. La Norma, Fm. Pampiano, Grupo Pampa, entre otros). Según Carrica (1998) su espesor podría llegar a los 200 metros en la zona de Bahía Blanca.

Hacia el sur del Salitral de la Vidriera, sobre la Fm. Chasicó, apoya la Fm. Belén (Kaaschieter, 1965), de edad Pliocena, identificada también como Fm. Río Negro en algunos sectores (Andreis, 1965). Se trata de acumulaciones clásticas fluviales con influencia marina (arenas, lutitas, coquinas marinas, arcilitas y limolitas). Esta unidad se encuentra aflorando o subaflorando, en casi todo el partido de Villarino, en depresiones y salitrales. Su potencia alcanza unos 100 metros en Algarrobo y más de 400 en Pedro Luro (Bonorino y Álvarez, 1983), mientras que en la zona de estudio se reconoce en el borde occidental de las Salinas Chicas con apenas 5 metros de espesor (Schalamuk *et al.*, 1999). Estos mismos autores llevaron a cabo un análisis mineralógico y granulométrico de las muestras obtenidas por ellos en las cercanías de la localidad de Ascasubi (a unos 60 km del área de estudio), determinando que las arenas de la Fm. Río Negro se encuentran constituidas por plagioclasas y abundante hipersteno, minerales opacos y escaso cuarzo. Los minerales livianos se encuentran en porcentajes alrededor del 80% al 95% y el resto se encuentra constituido por minerales pesados (Tabla 4.1.2.1). Esta caracterización mineralógica coincide en general por la descrita para las areniscas de la unidad por otros autores (Andreis, 1965).

Tabla 4.1.2.1. *Tabla de porcentajes de minerales livianos y pesados de 4 muestras analizadas de la Fm. Río Negro*
(X: menor a 1%, tomado de Bonorino y Álvarez, 1983).

Minerales	1	2	3	4
Plagioclasa	32,5	30	22	30
Alteritas	31	29	35	22,5
Cuarzo	14	9,5	10,5	11
Feldespatos potásico	6	5,5	6	3,5
Vidrio	5,5	7	16	14
Fragmentos líticos	10,5	19	11	20
Hipersteno	32	32	22	30
Augita	16	8,5	9,5	20
Hornblenda	9	10,5	2,5	6,5
Lamprobolita	X	1	-	1,5
Epidoto	10,5	4	9,5	6
Turmalina	1	-	-	-
Granate	X	1	-	1
Olivino	X	-	-	1
Opacos	9	16	18	9
Alteritas	15	21	18	9
Frag. líticos	6	5	15	3,5
Micas	X	1	-	2

Granulométricamente, mediante tamizado por vía seca de 34 muestras y sus curvas acumulativas e histogramas correspondientes (Figura 4.1.2.2), determinaron que el 54% se clasifican como arenas de grano medio y el porcentaje restante como arenas de grano fino.

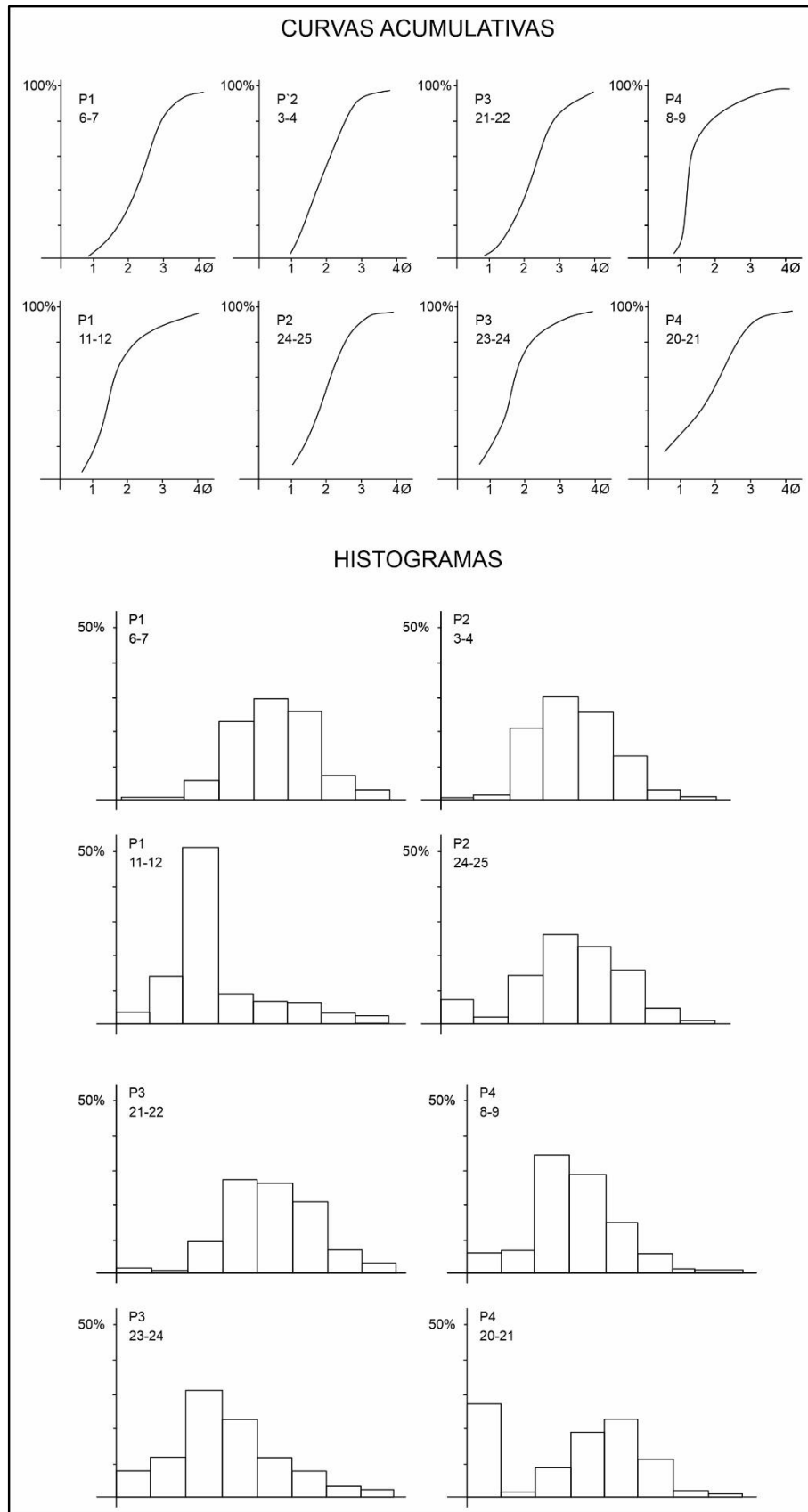


Figura 4.1.2.2. Histogramas y curvas acumulativas de los sedimentos de la Fm. Río Negro (modificado de Bonorino y Álvarez, 1983).

Más recientemente, Zavala *et al.* (2000) definieron tres Miembros en la Fm. Río Negro (Miembro inferior, medio y superior). El Miembro inferior se encuentra formado por areniscas, en su mayoría eólicas, con estratificación entrecruzada. El Miembro medio corresponde a intercalaciones de sedimentos de origen marino. Por último, el Miembro superior consiste en depósitos arenosos con capas de areniscas eólicas que se intercalan con sedimentos finos pertenecientes a lagunas intramedanasas. Presenta niveles de cenizas volcánicas y paleosuelos.

Fidalgo *et al.* (1987) mencionan a la Fm. Los Salitrales, que se circunscribe exclusivamente a la depresión de Chasicó, apoyando en discordancia erosiva sobre la Fm. Chasicó y en ocasiones interdigitada con la Fm. Río Negro. Se trata de areniscas, limos y arcillas de origen lacustre, que no sobrepasan los 4 o 5 metros de espesor. En la provincia de Buenos Aires, a lo largo del corte de una vía de ferrocarril (perfil del Decauville) ubicado en la margen sur de la depresión Salinas Chicas-Chasicó, se puede observar un perfil que abarca estas 3 unidades (Figura 4.1.2.3), mostrando la interdigitación mencionada.

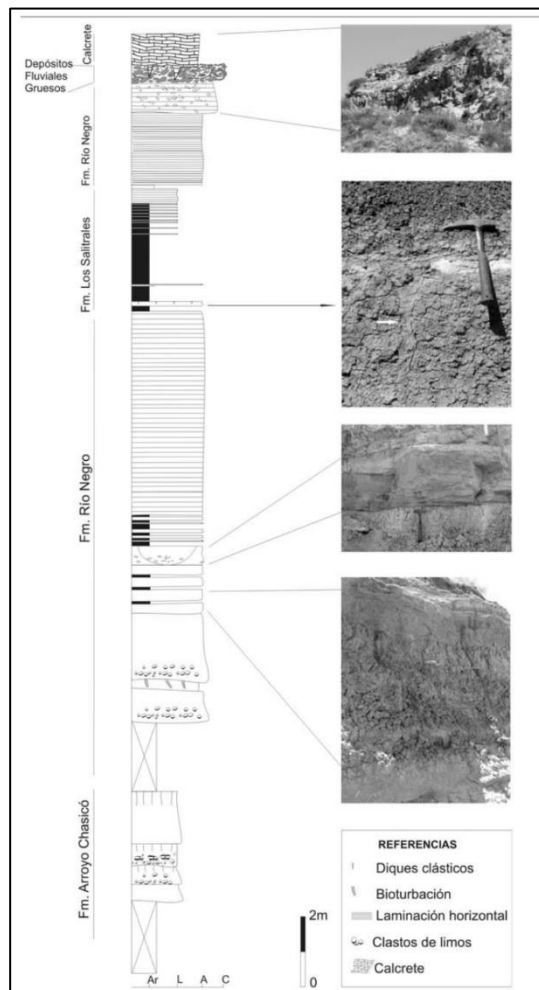


Figura 4.1.2.3. Perfil de Decauville. Los nombres formacionales son los establecidos por Fidalgo *et al.* (1978).

Tomado de Folguera y Zárate (2009).

Hacia el norte de la depresión antes mencionada, conformando el relleno de los valles pedemontanos, se encuentran los depósitos de origen aluvial de la Fm. Agua Blanca, de edad Pleistoceno Superior-Holoceno (De Francesco, 1992b). En la zona costera, los sedimentos loésicos pampeanos se hallan cubiertos por un estrato de limos arcillosos que han sido denominados Fm. Maldonado (Fidalgo, 1983), del Pleistoceno Superior. Los mismos se pueden observar en afloramientos en el Salital de la Vidriera.

Si bien reciben diferentes designaciones de acuerdo al autor, en ocasiones se puede encontrar en el área de estudio, apoyando sobre las Fm. Chasicó y Río Negro, una capa de "Rodados Patagónicos" (Fidalgo, 1999) de edad Pleistocena, de unos pocos metros de espesor. Se trata de conglomerados derivados de rocas porfíricas, con clastos de 3 a 5 cm con una matriz arenosa, fuertemente cementados por carbonato de calcio, que forma una capa de tosca sobre su techo de hasta 1,5 metros. Bonorino (1974) nombra además cubriendo a esta unidad a los sedimentos de la Fm. Pospampeano, cuyos depósitos (limos y arcillas con restos de conchillas) corresponden a la ingresión marina Querandinense que se distribuyen a lo largo de la depresión que ocupan las Salinas Chicas y el Salital de la Vidriera.

Gran parte de la superficie de la cuenca de encuentra cubierta por un manto eólico reciente, que yace en discordancia sobre el resto de las unidades. Estos depósitos dan lugar en ciertos sectores a la formación de cadenas de médanos (fijados por una cobertura vegetal escasa) con su pendiente más tendida buzante al noreste, las cuales alojan al acuífero freático en las zonas donde se encuentran presentes (Figura 4.1.2.4). Son de color castaño grisáceo a gris, macizos a estratificados. Involucran sedimentos modernos (De Salvo *et al.*, 1969) y en ocasiones son llamados, dependiendo del autor, como Fm. Estancia La Aurora (Fidalgo *et al.*, 1987), Fm. La Postrera o Fm. Médanos (Bonorino, 1974), entre otras denominaciones en diferentes partes de la provincia, y son comparables a las acumulaciones medanosas presentes en La Pampa.



Figura 4.1.2.4. Cadena de médanos que aloja al acuífero freático de la zona de estudio.

Estos médanos están compuestos, en términos generales, por arenas con un diseño unimodal, finas a medias, en ocasiones muy finas, que tienden a disminuir levemente su granulometría hacia el NO de la cadena. Son subredondeadas a redondeadas, moderadamente seleccionadas (aumentando esta selección de norte a sur), con una fracción pelítica subordinada y un porcentaje de limo de entre el 2 y el 4 % y 2 a 3% de arcilla, según Albouy (2005). Rossetto (1953) llevó a cabo un estudio detallado de su granulometría y mineralogía y les atribuye, además de un origen eólico, una componente piroclástica. Mineralógicamente son granos de plagioclasa, microclino, cuarzo, vidrio volcánico, piroxeno, epidoto, magnetita titanífera y no poseen carbonato de calcio (Bonorino, 1979). Según análisis llevados a cabo por Folguera *et al.* (2017), una muestra tipo contiene 45% de plagioclasa, 16% de vidrio, 13% de minerales opacos, 8% de cuarzo, 6% de feldespato potásico. En forma subordinada (menor al 5%) se observó hipersteno, augita y hornblenda.

Mediante el análisis y tamizado de 6 muestras de arena tomadas en diferentes puntos del área de estudio (Figura 4.1.2.5), se confeccionaron las curvas granulométricas de las mismas, las cuales pueden encontrarse con toda su información detallada individualmente en el Anexo IV.

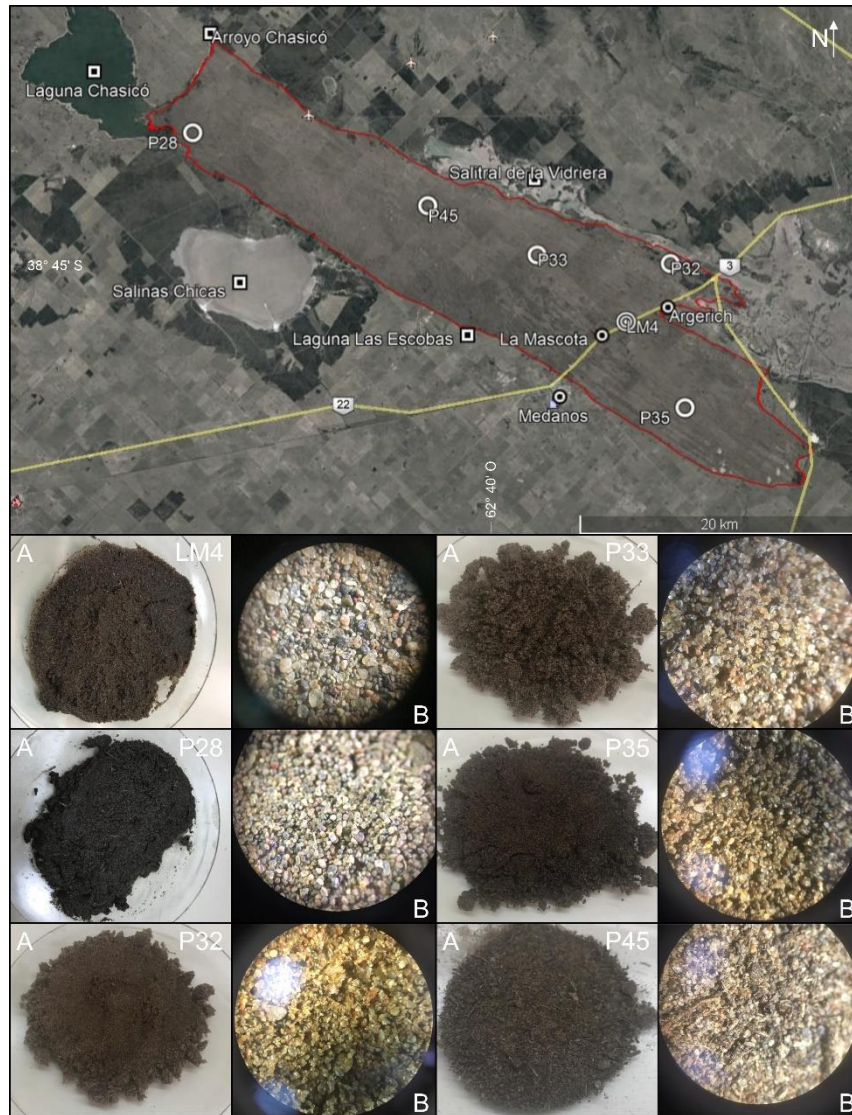


Figura 4.1.2.5. Ubicación de los puntos de extracción de las muestras de sedimentos arenosos eólicos del área de estudio (señalada en rojo) e imágenes ilustrativas de las mismas: A) a simple vista y B) bajo lupa con aumento 2X.

A partir de estas curvas (Figura 4.1.2.6), se calcularon los coeficientes de uniformidad y curvatura de Hazen (Tabla 4.1.2.2) y la distribución porcentual de las fracciones en el sedimento.

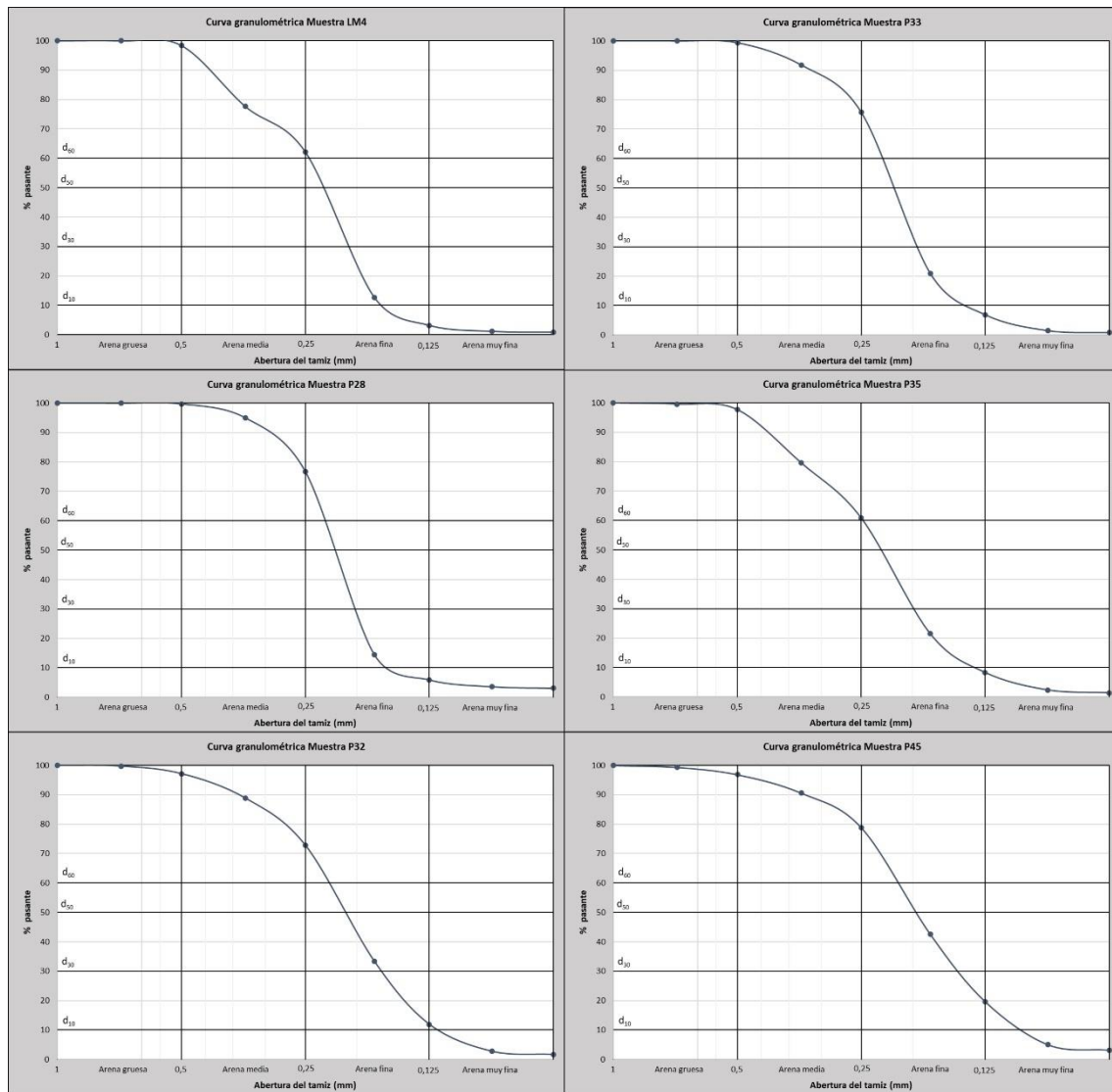


Figura 4.1.2.6. Curvas granulométricas de las muestras de sedimento.

Tabla 4.1.2.2. Distribución porcentual de tamaños de grano y coeficientes calculados. La clasificación según su tamaño considera los límites propuestos por Wentworth (1922).

Muestra	LM4	P28	P32	P33	P35	P45	Promedio
Arena gruesa (%)	1,63	0,26	2,83	0,66	2,31	3,13	1,80
Arena media (%)	36,22	23,03	24,36	23,68	36,83	18,07	27,03
Arena fina (%)	58,97	70,82	60,88	68,75	52,55	59,15	61,85
Arena muy fina (%)	2,28	2,84	10,29	6,08	6,94	16,46	7,48
Limo y arcilla (%)	0,9	3,05	1,64	0,83	1,37	3,19	1,83
d_{10}	0,163	0,16	0,12	0,142	0,133	0,103	0,137
d_{30}	0,197	0,19	0,163	0,184	0,187	0,146	0,178
d_{50}	0,227	0,212	0,200	0,208	0,224	0,184	0,209
d_{60}	0,245	0,223	0,218	0,223	0,247	0,203	0,227
c_u	1,50	1,39	1,82	1,57	1,86	1,98	1,69
c_c	0,97	1,01	1,02	1,07	1,06	1,02	1,03

En base a los resultados obtenidos, se desprende que la fracción arena fina es la más abundante en todas las muestras (Figura 4.1.2.7), representando en promedio un 61,85 %, seguido por la fracción de arena media, con el 27,03 %. El porcentaje de material fino (limo y arcilla) es de 1,83 %.

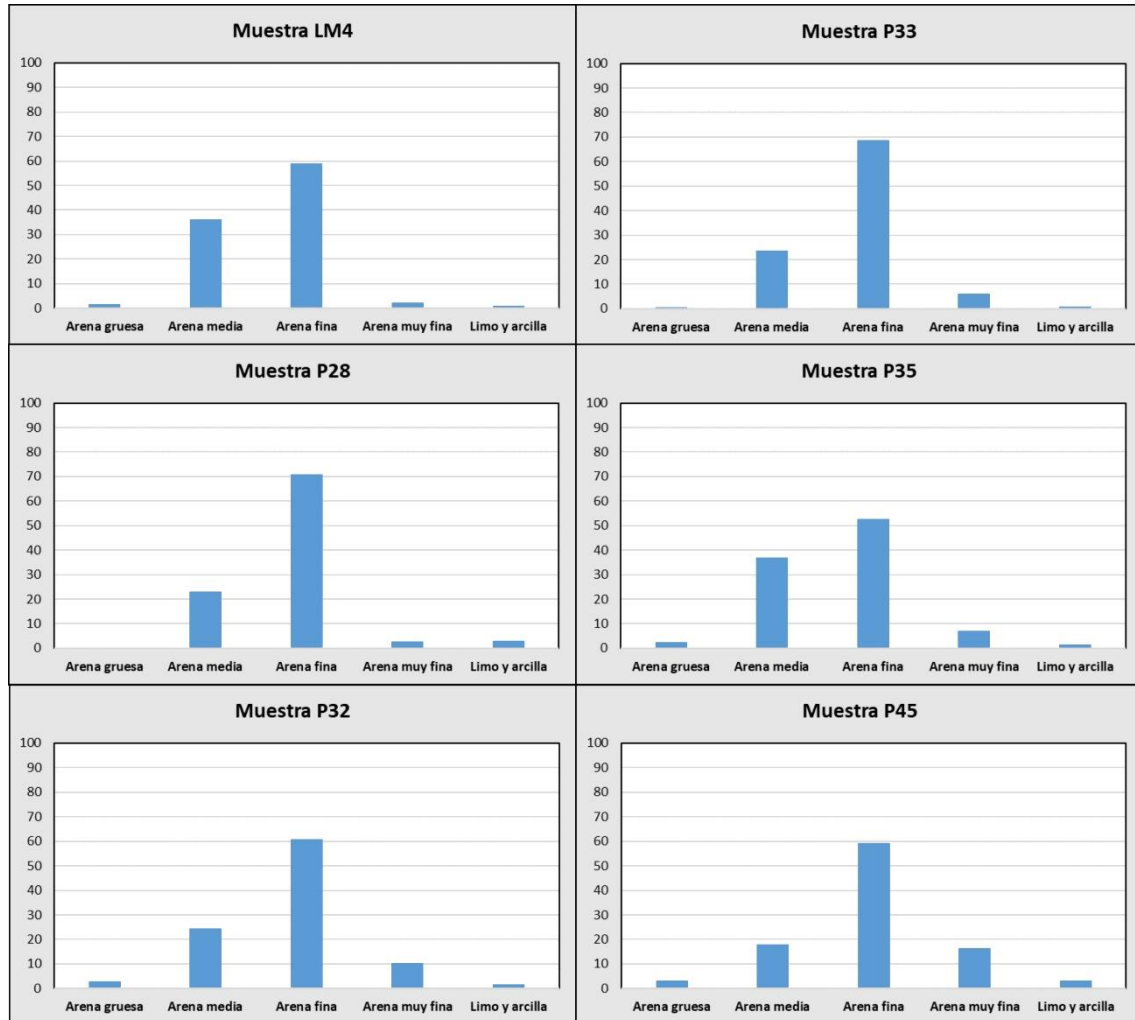


Figura 4.1.2.7. Histogramas de distribución de tamaño de grano de las muestras recolectadas.

De acuerdo a los valores de los coeficientes de uniformidad y curvatura, se puede considerar que la totalidad de las muestras se clasifican como muy uniformes y bien seleccionadas, con valores promedio de 1,69 y 1,03, respectivamente.

Las Formaciones cuaternarias restantes presentes en la zona muestran un rango areal muy restringido, con escasos afloramientos y potencias, por lo que representan poco interés.

4.1.3 EVOLUCIÓN TECTÓNICA Y ESTRUCTURAL

La llanura Chaco-pampeana, en un sentido amplio, es parte de un gran antepaís, que recibió desde el Mioceno sedimentos provenientes del levantamiento andino y que hoy constituye mayormente el lugar de tránsito de esos sedimentos hacia la plataforma y talud

continental atlánticos (Chebli *et al.*, 1999). A escala regional se reconocen diferentes fosas que dan al basamento forma de grandes cubetas separadas por altos. La cuenca del Colorado pertenece a una serie de cuencas marginales aulacogénicas de antepaís originadas por procesos de fracturación extensional sobre primitivas zonas de debilidad (Yrigoyen, 1999).

La historia de la cuenca comienza durante el Jurásico Medio-Superior (Figura 4.1.3.1), con la depositación de los sedimentos (estadio de prefosa o "prerift") que posteriormente son plegados, ocasionando el levantamiento de las rocas que conforman las Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires, elemento positivo en el área y fuente principal de aporte sedimentario.

Período	Formación	Etapas Tectónicas
Plioceno	Fm. Río Negro	DERIVA
Mioceno	Fm. Cerro Azul	
	Fm. Barranca Final	
Oligoceno	Fm. Elvira-Ombucta	
Paleoceno-Eoceno		
Cretácico	Fm. Pedro Luro	SAG
	Fm. Colorado	SINRIFT
	Fm. Fortín	
Paleozoico superior	Basamento	PRERIFT
Precámbrico		

Figura 4.1.3.1. Etapas de evolución tectónica de la Cuenca del Colorado. Extraído de Folguera *et al.* (2017), modificado de Yrigoyen (1999).

Durante el Jurásico Superior y Cretácico Medio se produce la fracturación en bloques del basamento cristalino y las rocas paleozoicas suprayacentes, vinculado posiblemente con el proceso diastrófico de rift (estadio de fosa o "rift") de la apertura del Atlántico (Rolleri, 1975), quedando el basamento con una configuración de bloques limitados por fallas (Figura 4.1.3.2), con rechazos de entre 100 y 300 metros entre ellos y, según información sísmica, de hasta 1.000 metros entre grupos de bloques en los alrededores de Bahía Blanca (Bonorino, 1988).

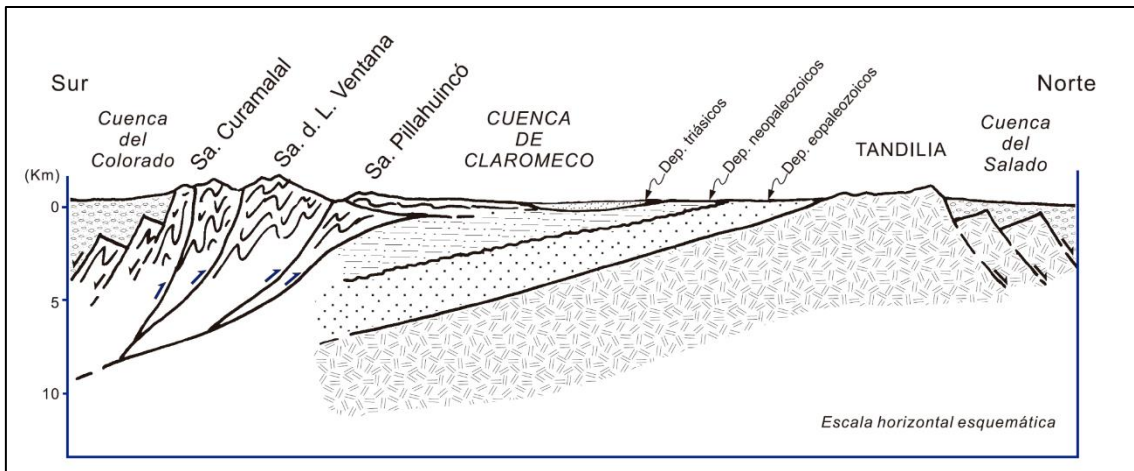


Figura 4.1.3.2. Corte estructural esquemático de la antefosa de Claromecó, mostrando la posición de la cuenca del Colorado y el basamento fallado en bloques. Tomado de Caminos (1999), modificado de Ramos (1984).

Luego de un largo período de erosión, comienza la depositación del relleno sedimentario de la cuenca durante el Cretácico (Fm. Fortín). Al cesar el aporte calórico, la litósfera, enfriada y fracturada, entra en paulatina subsidencia (estadio de relleno de cuenca o “sag basin”) enmarcada dentro de fosas limitadas por zonas de fallas gravitacionales reactivadas por el diastrofismo intersenoniano (Yrigoyen, 1999). Esto habría dado lugar al depósito de los sedimentos de la Fm. Colorado (Cretácico Medio) y posteriormente, a los depósitos marinos producto de la transgresión Larámica, correspondientes a la Fm. Pedro Luro (Cretácico Superior a Paleoceno).

En el estadio de margen pasivo, a partir del Eoceno hasta el Mioceno Temprano se depositan secuencias continentales y marinas de las Fms. Elvira y Ombucta. Durante el Mioceno Temprano a Medio tiene lugar una gran transgresión marina, donde el mar pasa a ocupar toda la región, exceptuando al positivo de Ventania. Es en este momento que se produce el depósito de los sedimentos correspondientes a la Fm. Barranca Final. La colmatación de la cuenca se produce a partir del Mioceno tardío a Plioceno, representada por materiales continentales, y a partir del Pleistoceno tienen lugar una serie de transgresiones y regresiones marinas limitadas al ámbito costero y el relleno de los amplios valles fluviales (DIPAC, 2017).

Durante el Holoceno se da un leve ascenso del área continental, manifestado por una regresión que ocasiona el afloramiento de depósitos marinos relativamente recientes y profundización de cauces de ríos y valle fluviales por descenso de su nivel de base.

En cuanto a la génesis de la cadena de médanos objeto de este estudio, si bien se asume que la fuente de estos materiales serían sedimentos traídos desde la zona andina por el sistema fluvial del Río Colorado y sus tributarios, no se han realizado estudios cronológicos detallados de estos mantos de arena en particular, siendo por mucho el área menos conocida del sistema eólico del centro argentino (Zárate y Tripaldi, 2012; Tripaldi y Zárate, 2014). En general, se

consideran producto de grandes eventos eólicos relacionados a oscilaciones climáticas, acaecidos durante el Holoceno, que transportaron los sedimentos desde el sistema fluvial ya mencionado.

4.2 GEOMORFOLOGÍA

La zona no cuenta con trabajos específicos, sin embargo, se pueden citar los estudios regionales de González Uriarte (1984), González Uriarte *et al.* (1985), González Uriarte (2002), y Spaletti e Isla (2003), entre otros, que la incluyen. En líneas generales, el partido de Villarino se caracteriza por el predominio de planicies bajas que hacia el sur se escalonan según edad y altitud decreciente. El macro relieve está controlado por la estructura geológica y sobre él se imprime un modelado que evidencia la intervención de acciones eólicas, fluviales y litorales, iniciadas durante el Plioceno (Rodríguez *et al.*, 2018).

En base a criterios morfoestructurales, González Uriarte (1984) clasifica la zona dentro del Dominio de la Cuenca del Colorado, incluida en la unidad subordinada de "Paleovalles con remociones eólicas de arenas", como se muestra en la Figura 4.2.1.

DOMINIOS	UNIDADES	UNIDADES SUBORDINADAS	TIPOS MORFÓLOGICOS
DOMINIO DEL POSITIVO DE VENTANIA	NIVEL DE PLANACION GENERAL	Llanura Subventánica	Valles fluviales extraserranos Escarpa frontal topografía pseudokarstica
DOMINIO LITORAL	PALEONIVELES MARINOS		Cordones litorales y playa Plataforma de abrasión
	UNIDADES DE FUNCIONAMIENTO ACTUAL		Llanuras aluviales Relleno de mareas Canales de marea
DOMINIO DE LA CUENCA DEL COLORADO	-NIVEL DE PLANACION GENERAL		
	-NIVEL DE PAMPLANACION		
	-NIVEL CON SUBNIVELES FLUVIALES MODERNOS	Niveles fluviales transicionales	Niveles aterrazados
		Paleodelta	Paleodelta Interno Paleodelta externo
		Valle Fluvial Funcional	Bardas
		Paleovalles con remociones eólicas de arenas	Cordones medanosos

Figura 4.2.1. Clasificación de unidades geomorfológicas de González Uriarte (1984) en la zona. Tomado de DIPAC (2017).

A su vez, González Uriarte (2002) separa el sudeste de la provincia de Buenos Aires en varios geoambientes (Figura 4.2.2). La cadena de médanos del área de estudio queda comprendida en el geoambiente de paleovalle principal (PvP), que en sus niveles mínimos llega a cotas negativas respecto al nivel del mar.

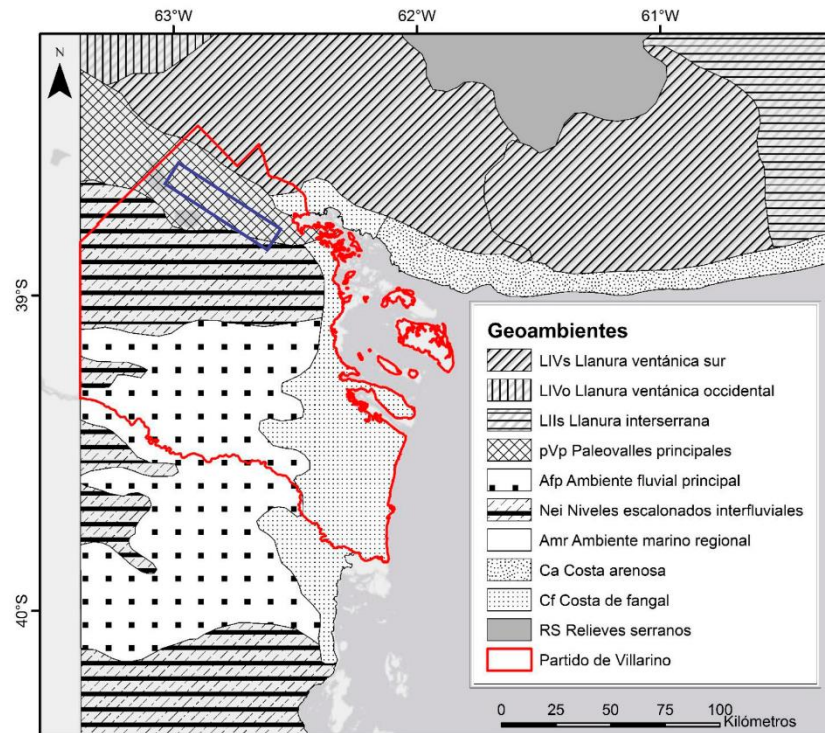


Figura 4.2.2. Geoambientes del sudeste bonaerense. El recuadro azul indica la ubicación del cordón medanoso del área de estudio. Tomado de Rodríguez et al. (2018). Modificado de González Uriarte (2002).

Spaletti e Isla (2003) proponen la designación formal de “Arenas Médanos” a estas acumulaciones eólicas. La depresión sobre la que apoyan y se desarrollan muestra una historia compleja, con evidencias de acciones tectónicas, marinas, fluviales y eólicas, como parte de un lineamiento regional.

En la Figura 4.2.3 se presenta un mapa de geoambientes más detallado, a escala 1:250000, elaborado por Rodríguez et al. (2018) siguiendo los criterios de González Uriarte (2002) para la determinación de unidades geoedáficas.

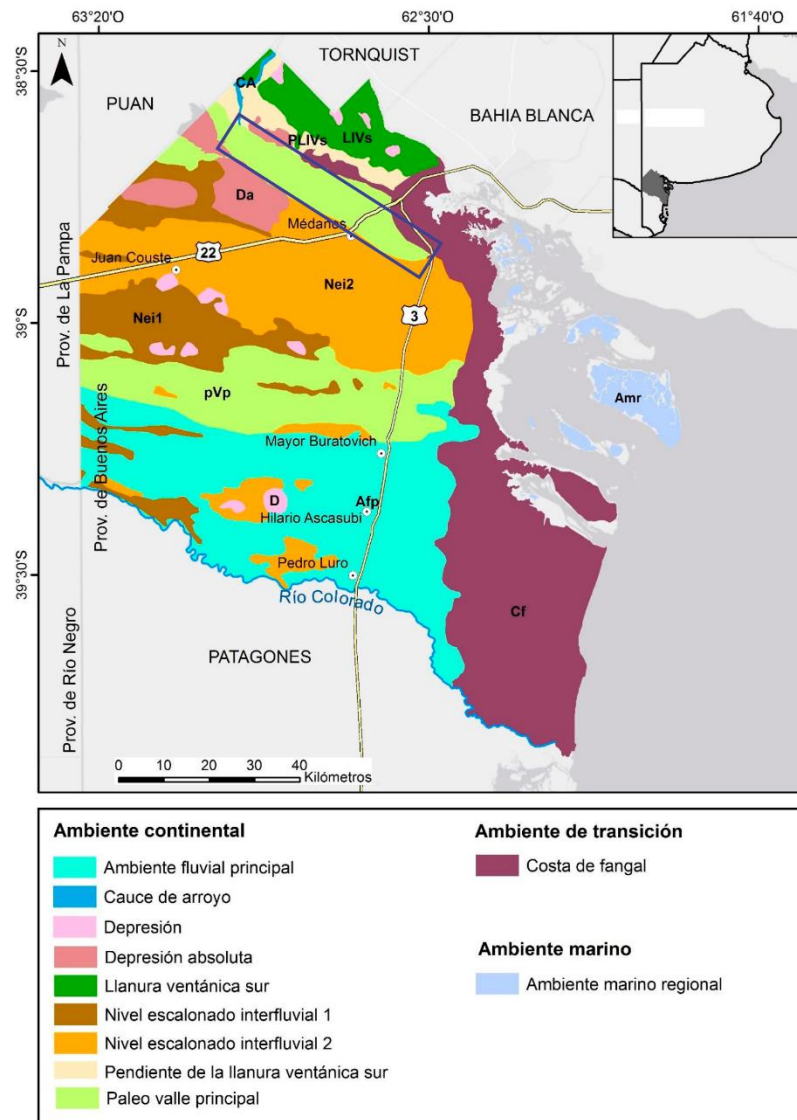


Figura 4.2.3. Geoambientes del sudeste bonaerense a escala 1:250.000. El recuadro azul indica la ubicación del cordón medanoso del área de estudio. Modificado de Rodríguez et al. (2018).

Por otro lado, Folguera *et al.* (2017) realizaron un esquema geomorfológico de la comarca de los alrededores de Bahía Blanca (Figura 4.2.4), teniendo en cuenta los procesos geomorfológicos actuantes y las geoformas resultantes, ubicando al área de estudio dentro del dominio continental.

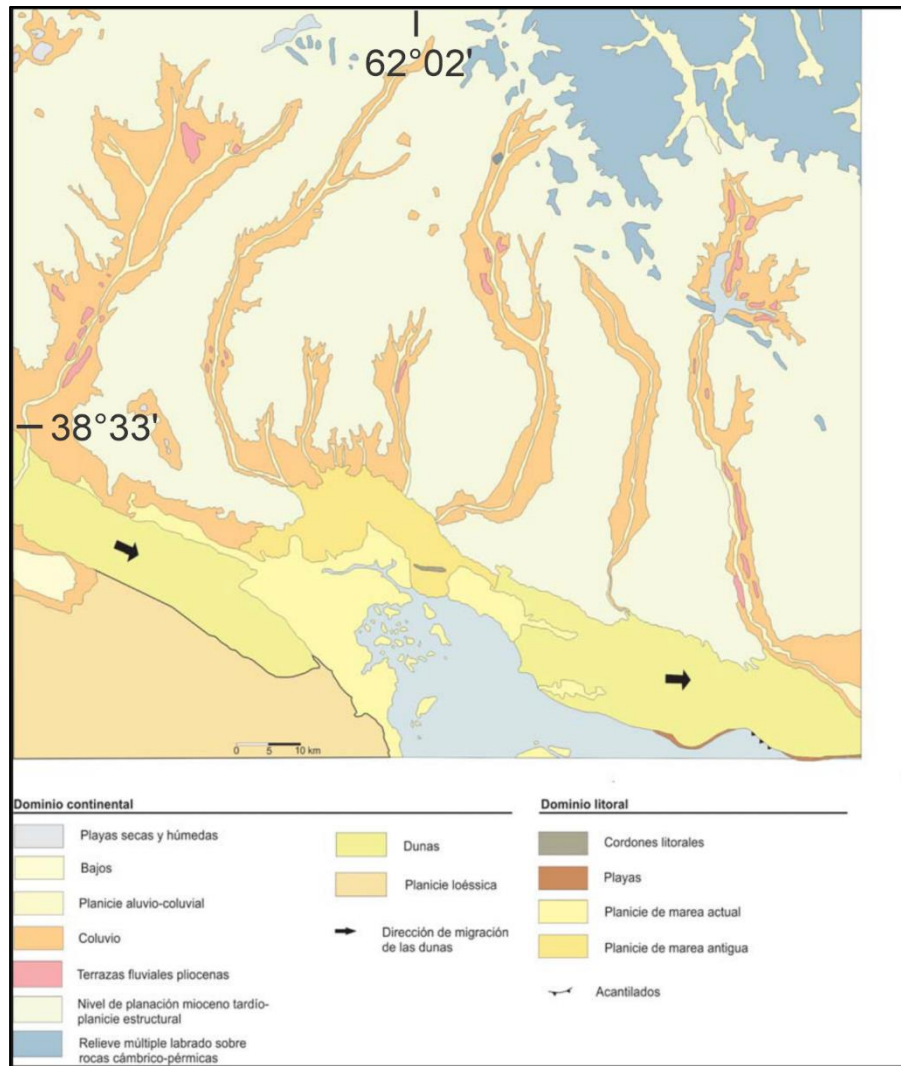


Figura 4.2.4. Esquema geomorfológico del área de la Hoja Geológica 3963-II Bahía Blanca (extraído de Folguera et al., 2017).

Morfológicamente, estas acumulaciones de arenas (Figura 4.2.5) forman barjanes de 150 a 200 metros de longitud, llegando excepcionalmente a los 1500 metros. Se encuentran frecuentemente alineadas en dirección noroeste-sudeste, con la pendiente más tendida buzando al noreste, aunque se las observa también transversales a esta dirección predominante. Hacia el sur se desarrolla en forma de manto.



Figura 4.2.5. Médanos del área de estudio, en un campo cercano a la Laguna Chasicó.

Se registran además depresiones o cuencas de deflación con un diámetro máximo de 100 metros. Según Folguera *et al.* (2017), se reconocen dos sistemas de dunas de diferente edad, uno progradando al otro.

4.3 SUELOS

Uno de los primeros trabajos en hacer referencia a los suelos del partido de Villarino es llevado a cabo por Groeber (1949), donde describe lo observado en un viaje realizado dos años antes en el sector ubicado al este de la actual Ruta Nacional 3. Posteriormente, Molfino (1950) publica un informe que es posiblemente el primer relevamiento de suelos realizado en detalle en el partido, bajo el nombre de "Suelos de la Península Verde, Partido de Villarino". Se pueden citar también los estudios realizados por Quevedo (1950) y Tallarico *et al.* (1955).

En este último se describe un grupo de suelos clasificados como "regosoles de textura arenosa", con bajo contenido de materia orgánica, de color pardo amarillento y muy susceptibles a la acción erosiva del viento. Según estos autores, aparecen en dos grandes cordones medanosos que se extienden desde el límite con la provincia de La Pampa casi hasta el mar. Estas formaciones mencionadas son las denominadas por González Uriarte (1984) como "Paleovalles con remociones eólicas de arenas", por Spaletti e Isla (2003) como "Arenas Médanos", y en ocasiones como "Fm. Médanos", citadas oportunamente. En esta zona, los suelos se han desarrollado a partir de un material originario de textura franco arenosa, mezclado en parte, con carbonato de calcio pulverulento. Se trata de un sedimento eólico reciente que se apoya sobre una costra calcárea (horizonte 2Ckm), no muy potente y de varios centímetros de

espesor. En condiciones de sequía y con escasa cobertura vegetal, son suelos altamente susceptibles a erosionarse por la acción del viento (DIPAC, 2017). De acuerdo a Dumrauf (2008), las cadenas de médanos ocupan el 13% de la superficie total del partido.

En Etchevehere (1961), el autor enmarca al partido de Villarino dentro de la unidad designada como "Llanuras Pampásicas". Considera que la zona constituye una transición entre las llanuras bonaerenses y las terrazas patagónicas, describiendo al sector como de relieve plano, con suelos originados a partir de materiales arenosos y permeables, desarrollados a partir de sedimentos eólicos. Miaczynski y Tschapek (1965) mapean los suelos más representativos del sector norte del partido, reconociendo el cordón arenoso más septentrional (que como se ha mencionado anteriormente ya había sido estudiado por varios autores previamente), al cual caracterizan como formado por "Arenas: médanos, suelos arenosos y dunas marítimas". Laya y Barnes (1969) mapean el sector norte del partido y clasifican estos depósitos como Psamments. En la publicación "Las Taxas climáticas de los suelos argentinos" (Van Wambeke y Scoppa, 1976) consideran de régimen ústico a los suelos ubicados en el sector norte y centro del partido.

En 1989 se publica el Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires, escala 1:500.000 (SAGyP - INTA, 1989). En esta publicación se utiliza el concepto de Dominio edáfico para delimitar unidades de terreno (Figura 4.3.1). Estos se definen como regiones donde predominan determinados subgrupos de suelos (generalmente dos, raramente uno o tres).

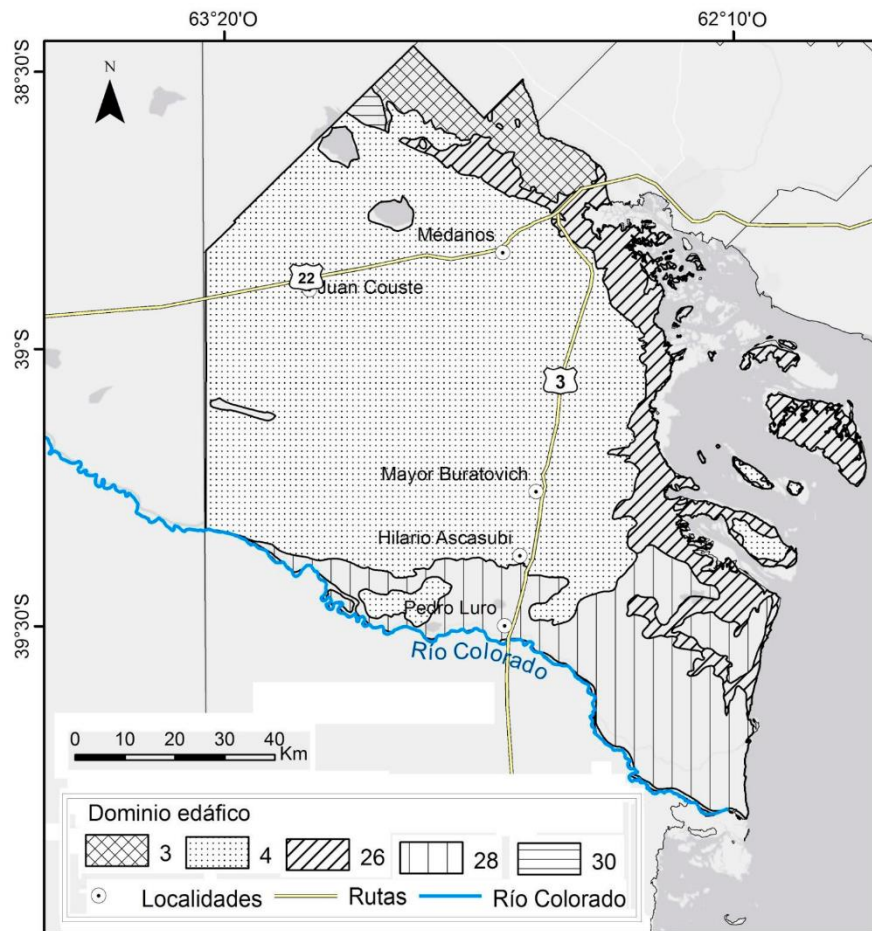


Figura 4.3.1. Mapa de Dominios edáficos de la provincia de Buenos Aires (SAGyP - INTA, 1989). Detalle del partido de Villarino, modificado por Rodríguez et al. (2018).

De acuerdo a esta publicación, la zona de estudio queda comprendida en el Dominio edáfico 4, más precisamente por las unidades cartográficas (grupos de suelos vinculados geográficamente) 4c y, en mucha menor superficie, 4a (Figura 4.3.2). La primera se describe como extensas planicies modeladas sobre arenas de origen eólico que cubren las superficies de las terrazas, identificadas como 4a. En ambos casos se reconoce una alta susceptibilidad a la erosión eólica.

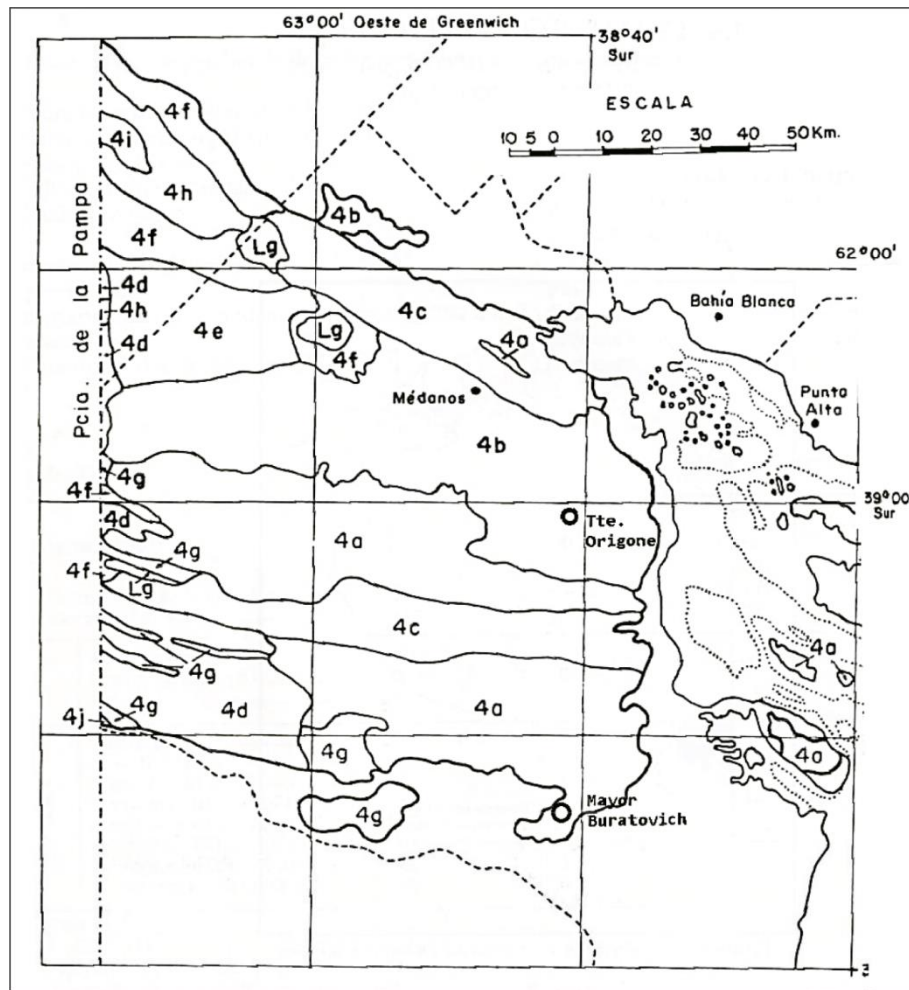


Figura 4.3.2. Dominio edáfico 4 y sus unidades cartográficas. Tomado de DIPAC (2017), adaptado de SAGyP-INTA (1989).

A continuación, se presenta una breve descripción de los suelos presentes en estas unidades cartográficas, según lo elaborado por DIPAC (2017).

-Unidad cartográfica 4a: abarca una pequeña superficie cercana a la localidad de Argerich. Se compone de suelos de escaso desarrollo, en general Entisoles o Molisoles énticos, asociación de Haplustol éntico franco grueso desarrollado en los planos y pie de médanos; Haplustol éntico somero en sectores con tosca y Torripsamment ústico en las crestas de los médanos. Como suelos menores en sectores bajos y vías de escurrimiento se presentan Torrifluvent típicos. Asensio y Sartor (2003) mencionan Ustipsamment típico en la localidad de Argerich. En ocasiones puede encontrarse una capa de tosca entre los 0,5 y 1 m de profundidad.

-Unidad cartográfica 4c: se compone de una asociación de Ustipsamment típico con Torripsamment ústico, desarrollados en las planicies, y Cuarzipsamment típico en sectores medanosos. Como suelos menores se pueden mencionar Haplustol éntico en sectores deprimidos donde hay cierta acumulación de humedad.

Cabe mencionar además la descripción de algunos perfiles representativos a los que se hace referencia en Rodríguez *et al.* (2018), en localidades abarcadas por el área de estudio de esta tesis:

-Perfil representativo Mascota - Haplustol éntico: Mascota es el perfil que representa a un grupo de suelos reconocidos en posición de bajo, en áreas suavemente onduladas dentro del paleovalle principal (pVp) en el centro y norte del partido. Estos perfiles, desarrollados a partir de arenas, son profundos, algo excesivamente drenados y con rápida a muy rápida permeabilidad. El perfil representativo se caracteriza por su incipiente desarrollo y la textura gruesa de sus horizontes, la cual varía entre areno franca y arenosa. En superficie, posee un horizonte A de 25 cm de espesor regularmente provisto de materia orgánica y con reacción cercana a la neutralidad. A continuación, aparece un horizonte transicional AC, que se extiende hasta los 45 cm: presenta características similares al anterior, pero con menor contenido de materia orgánica. El horizonte C, que se extiende hasta los 130 cm, es arenoso y moderadamente alcalino.

-Perfil representativo Argerich - Cuarzipsament típico: este perfil representa a suelos que aparecen en un área extendida formada por cordones medanosos ubicada en el centro y norte del partido, en las unidades de paleovalles principales (pVp). Los suelos se reconocen en un paisaje suave a moderadamente ondulado, ocupando las crestas de los médanos. El perfil descripto presenta textura arenosa, es excesivamente drenado y de rápida a muy rápida permeabilidad. Se caracteriza por la presencia de un horizonte superficial A de 18 cm de espesor con muy baja provisión de materia orgánica y reacción neutra. A continuación, aparece el horizonte C, ligeramente alcalino, que se extiende hasta los 150 cm de profundidad.

En lo que respecta a su vegetación, el partido de Villarino está ubicado dentro de la provincia del Espinal, distrito del Caldén (Cabrera, 1951). La flora es de tipo xerófila; fisonómicamente se corresponde con un matorral abierto de tipo achaparrado, mientras que el estrato herbáceo es predominantemente de gramíneas, de escasa cobertura.

En cuanto a la capacidad de campo de los suelos arenosos en la cadena de médanos objeto de este estudio, Bonorino *et al.* (1989b) la sitúan en 20 mm, mientras que Carrica *et al.*, (2018) la estiman en 24 mm. La infiltración básica oscila entre 90 y 160 mm/h.

4.4 HIDROGEOLOGÍA

En Auge (2004), se propone el concepto y la división del territorio de la República Argentina en "Regiones Hidrogeológicas". En este término se incluye a toda región que presente características o comportamientos distintivos en relación a sus aguas subterráneas.

Como ya se mencionó brevemente en un capítulo anterior, de acuerdo a esta clasificación, se puede enmarcar al área de estudio dentro de la Región Hidrogeológica de la Cuenca de Bahía Blanca (Figura 4.4.1). Si bien esta cuenca se ubica dentro del ámbito de la Llanura Chaco-Pampeana árida, debido a sus particularidades piezométricas, termométricas y de productividad, se la considera una unidad independiente dentro de ésta.

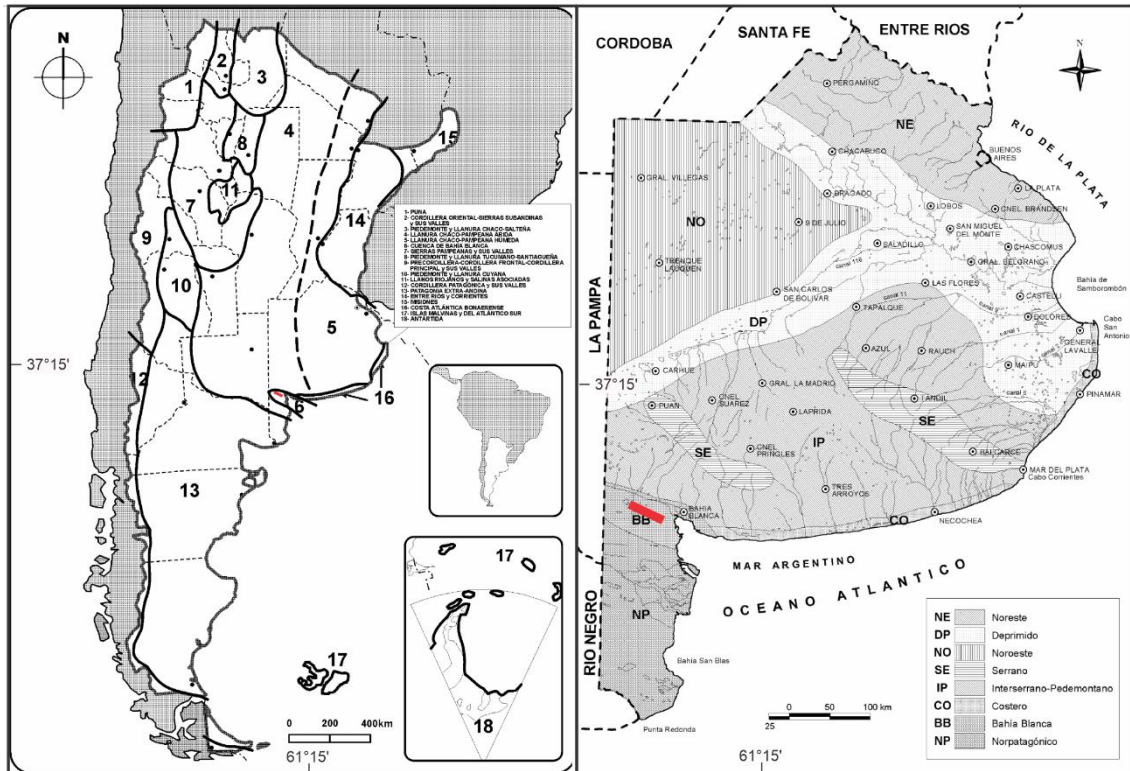


Figura 4.4.1. Regiones hidrogeológicas de la República Argentina y la Provincia de Buenos Aires (modificado de Auge, 2004). En rojo se señala el área de estudio.

En un sentido regional, debido su extensión areal, se puede tomar el Mioceno Verde, o Paraniense (Figura 4.4.2), que estratigráficamente corresponde a la Fm. Barranca Final, como nivel guía en el área desde un punto de vista hidrogeológico (Sala, 1975). De esta forma, se puede definir una columna hidrogeológica simplificada (Hernández *et al.*, 1979), con una sección Hipoparaniana (sedimentos por debajo del Mioceno Verde), y una sección Epiparaniana (sedimentos por encima del mismo).

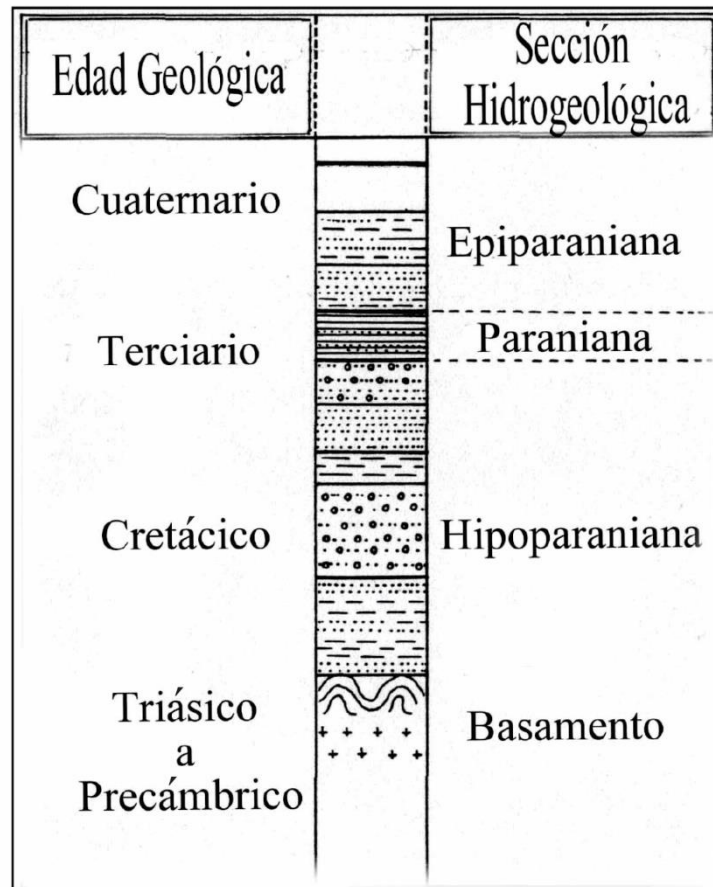


Figura 4.4.2. Columna hidrogeológica. Tomado de Kruse y Zimmermann (2002).

A continuación, se realiza una descripción de cada sección en la cuenca del Colorado y del basamento hidrogeológico sobre las que apoyan, vinculándolas a su vez con la estratigrafía en la región (Figura 4.4.3), haciendo especial énfasis en sus características hidrolíticas. La sección Epiparaniana será descrita en mayor profundidad al ser la portadora del acuífero freático en la región y presentarse en el área de estudio de esta tesis aflorando o subaflorando, siendo sus términos superiores el objetivo de estudio específico de esta tesis.

-Basamento Hidrogeológico: Está compuesto por los depósitos paleozoicos de las Sierras Australes, ya descriptos en detalle el apartado de geología. No aflora en el área, aunque de acuerdo a los datos a partir de perforaciones y sismica se encontraría en el subsuelo de toda la cuenca del Colorado. Se comportan como la unidad acuífuga de la cuenca.

SECCIONES HIDROGEOLOGICAS		FORMACIONES GEOLOGICAS	Edad	Litología	Prop. Hidráulicas	Aflora- mientos reconocidos
EPIPARANIANO		BAHIA BLANCA	Holoceno	Limos arenosos	Acuífero	Sí
		LA VITICOLA		Limos arenosos eólicos	Acuífero	Sí
		LAS ESCOBAS		Arenas de Playa	Zona No Saturada	Sí
		SAAVEDRA		Limos arenosos		No
		AGUA BLANCA LUJAN	Pleistoceno Superior	Arenas y limos fluviales	Acuífero	Sí (Valles)
		MALDONADO		Limos arcillosos marinos	Acuífero- Acuícludo	Sí
		BELEN O RIO NEGRO	Plioceno Superior	Gravillas y arenas azuladas	Acuífero Acuitardo	Sí
		LA NORMA/ SEDIMENTOS PAMPEANOS		Plioceno Superior	Limos loésicos cementados	Acuífero
		CHASICO	Limos arenosos Tosca		Acuífero- Acuitardo	No
PARANIANO		BARRANCA FINAL	Mioceno	Arcillitas	Acuícludo	No
HIPOPARAN IANO	Superior	OMBUCTA	Eoceno- Oligoceno	Areniscas Y tobas	Acuífero	No
		PEDRO LURO	Cretácico Medio	Lutitas y Arcillitas	Acuícludo	No
	Inferior	COLORADO	Cretácico	Cuarcitas y areniscas cuarcíticas	Acuífero acuitardo	No
		FORTIN		Areniscas cuarzosas y lutitas	Acuícludo	No
BASAMENTO HIDROGEOLOGICO		GRUPO PILLAHUINCO	Pérmico a Carbónico Superior	Cuarcitas, areniscas cuarzozas	Acuífugo	No
		GRUPO VENTANA				No

Figura 4.4.3. Hidroestratigrafía de la Cuenca del Colorado (DYMAS, 1974). Modificado por Bonorino (1988).

-Sección Hipoparaniana: Incluye sedimentos alternantes acuíferos de variada permeabilidad y acuícludos. Bonorino (1988) divide esta sección en dos partes: inferior y superior. La parte inferior abarca la Fm. Fortín y los niveles inferiores de la Fm. Colorado. Posee escaso interés hidrogeológico al tratarse de unidades acuícludas/acuitardas y situarse a profundidades del orden de los 1500 m.b.n.t. (metros bajo nivel del terreno).

La parte superior se ubica entre los 840 y los 1300 metros de profundidad y abarca los niveles superiores de la Fm. Colorado y las Fms. Pedro Luro y Ombucta; esta última es la de mayor interés dentro de la sección al tratarse de la portadora principal de los niveles acuíferos del Sistema Hidrotermal Profundo de Bahía Blanca (SHP). Los depósitos de niveles superiores de la Fm. Colorado poseen características acuíferas que conforman la parte inferior del SHP, alojando aguas dulces, pero más blandas y floruradas que las de los niveles superiores del SHP (Bonorino, 1988). Por encima de los depósitos anteriores se ubica la Fm. Pedro Luro, de edad Cretácica, la cual se compone de sedimentos finos con características acuícludas. Apoyando sobre ésta se encuentra la Fm. Ombucta, llamada en ocasiones informalmente Mioceno Rojo

(DYMAS, 1974), del Eoceno-Oligoceno. Como se mencionó anteriormente, es la portadora de los niveles superiores del SHP de Bahía Blanca, estudiado en profundidad particularmente por Bonorino (1988). El descubrimiento de este acuífero tuvo lugar en 1912, en la perforación del pozo Argerich llevado a cabo por la ex Dirección General de Minas y Geología. Se caracteriza por contener aguas termales y surgentes, de excelente calidad. En Bahía Blanca se ubica a una profundidad de alrededor de 650 metros, la cual se incrementa hacia el sur. El SHP fue localizado en profundidad en buena parte del partido de Villarino, aunque sus aguas van aumentando en salinidad hacia el sur, al atravesar sedimentos con intercalaciones marinas, hasta resultar en salmueras.

-Sección Parania: conocido informalmente como "Mioceno Verde", corresponde a los sedimentos de la Fm. Barranca Final, depositados como producto de la ingresión marina del mar Paraniense. Se comporta en general como acuícludo, con algunas intercalaciones de niveles acuíferos. Litológicamente predominan las arcillas verdosas a las cuales alude su nombre. Los niveles productivos poseen aguas altamente salinizadas. Su espesor ronda los 250 metros, llegando a un máximo de 792 metros en el sondeo Colorado 1 (DYMAS, 1974).

-Sección Epiparania: de gran importancia hidrogeológica, es la única de las secciones con relación directa con las fases superficial y atmosférica del ciclo hidrológico, respondiendo rápidamente a sus variaciones y actuando como generadora activa con relación a las unidades anteriores (Kruse y Zimmermann, 2002). La porción inferior de la sección comprende la Fm. Chasicó, de edad Pliocena, siendo esta la unidad más antigua aflorante en el área de estudio. Sus niveles inferiores (arenas medias a finas con vidrio volcánico, de origen fluvial) poseen características acuíferas termales surgentes o semisurgentes, con aguas de regular calidad. Su profundidad en general ronda los 180 a 250 metros de profundidad, con transmisividades de 50 m²/d y permeabilidades de 2,5 m/d, según ensayos de bombeo (DIPAC, 2017). Hacia el norte del Salitral de la Vidriera esta unidad pasa transicionalmente a los "sedimentos pampeanos", ampliamente estudiados y portadores del acuífero freático en la región. Al carecer de importancia para la zona de estudio de esta tesis no se hará una descripción detallada de los mismos.

Hacia el sur del salitral, apoyando sobre la Fm. Chasicó se encuentran los depósitos de la Fm. Belén, llamada también Formación Río Negro, de edad Pliocena. Se trata de arenas de grano fino a medio, bien seleccionadas, subredondeadas, friables, escasamente cementadas por carbonato de calcio, con estratificación entrecruzada, que intercalan con lutitas. Es portadora del acuífero libre de la región. En algunos casos su techo está cubierto por una delgada capa de "rodados poligénicos" (sobre todo al sur del Río Colorado) y sedimentos arenosos que forman cadenas de médanos (objeto de estudio principal de esta tesis). En Algarrobo se atravesaron

100 metros de esta Formación, con un espesor medio acuífero de 50 metros, mientras que en la margen occidental de Salinas Chicas apenas alcanza 5 m de espesor (Schalamuk *et al.*, 1999). El nivel freático se encuentra a profundidades de entre 1 y 3 metros en zonas bajo riego. Mediante ensayos de bombeo en estudios anteriores se obtuvieron transmisividades de entre 278 y 653 m²/d, permeabilidades de 4 a 7 m/d y un coeficiente de almacenamiento entre 0,04 y 0,26, observándose efectos de drenaje diferido, en las proximidades de Colonia San Adolfo (Bonorino y Álvarez, 1983).

Los "rodados poligénicos", también llamados "Rodados Patagónicos" (Fidalgo, 1999) son depósitos, de entre 2 y 4 m de espesor. No forman acuíferos, sino que actúan como una capa con permeabilidad por fisuración, por la cual se infiltra agua a las unidades subyacentes. Sobre estos apoyan los sedimentos de la ingresión Querandinense, materiales arcillosos que alojan al acuífero freático en la zona de descarga y afectan la calidad química del agua.

Los cordones medanosos a los que apunta este estudio obtienen diferentes denominaciones según el autor. Son llamados "Arenas Médanos" (Spaletti e Isla, 2003), Fm. Estancia La Aurora (Fidalgo *et al.*, 1987), Fm. Médanos (en Bonorino, 1979) "Paleovalles con remociones eólicas de arenas" por González Uriarte (1984), haciendo referencia a la geomorfología, o simplemente como sedimentos eólicos modernos. Se encuentran cubriendo, ya sea a la Formación Chasicó y Formación Río Negro, o a los "Rodados Patagónicos" y posiblemente sedimentos de la ingresión Querandinense. Alcanzan los 15 metros de espesor. Bonorino (1974 y 1979) y Lexow y Bonorino (2012) realizaron estudios de los recursos y reservas hídricas en estas cadenas de médanos circundantes a la localidad homónima y de Argerich y presentaron un perfil geohidrológico generalizado para los sedimentos del área en la superficie y el subsuelo (Figura 4.4.4).

FORMACIÓN	LITOLOGÍA	PROPIEDADES ACUÍFERAS
Médanos (Holoceno)	Depósitos eólicos integrados por arenas medianas a finas, en forma de mantos o cuerpos medanosos. Yacen sobre los Limos Loessoides, la Formación Río Negro o los Rodados Patagónicos.	Nivel freático a poca profundidad. Agua en espacios porosos. Alta porosidad y buena permeabilidad. Agua de bajo contenido en sales. (3 m de espesor medio)
Rodados Patagónicos (Pleistoceno)	Gravas medianas a finas con matriz arenosa, de origen fluvial, desarrolladas preferentemente al Sur del río Colorado, fuertemente cementadas por carbonato de calcio en los términos superiores. Apoyan sobre la Formación Río Negro y en algunos sectores sobre los Limos Loessoides.	El nivel superior actúa como una capa de permeabilidad por fisuración a través del cual se infiltra el agua de lluvia. No forma acuíferos. (entre 2-4 m de espesor)
Formación Río Negro o Rionegrense (Plioceno)	Arenisca de grano mediano a fino, color gris, con típica estratificación entrecruzada.	Buena porosidad y permeabilidad. Acuíferos de rendimiento variable. Aguas de mediana a alta mineralización. (espesores saturados entre 4-9 m)
Limos Loessoides También denominados Formación Chasicó (Plioceno inferior)	Limos arcillosos de color castaño rojizo, macizos, con intercalaciones de arenas y arcillas y niveles calcáreos y yesíferos.	Baja porosidad y permeabilidad. Es portadora de niveles acuíferos de carácter confinado aproximadamente entre los 50 y 200 m de profundidad. (entre 150 y 200 m de espesor)

Figura 4.4.4. Esquema hidroestratigráfico para el área de estudio, en las proximidades de Médanos y Argerich (Lexow y Bonorino, 2012, basado en Bonorino, 1979).

Estos cordones se encuentran compuestos por arenas finas a medias, de origen eólico, con una alta capacidad de infiltración del agua de lluvia, incorporándola rápidamente a la zona saturada como recarga del sistema. Bonorino *et al.* (1989a) les asignan a estos depósitos permeabilidades de 17 m/d y una porosidad efectiva que ronda el 20%. Poseen una pequeña fracción limosa y arcillosa subordinada. Presentan notables similitudes con los cordones medanosos de la provincia de La Pampa.

CAPÍTULO 5: ESTUDIOS GEOELÉCTRICOS

5.1 PARAMETRIZACIÓN DE DATOS

Lexow y Bonorino (2012) realizaron una serie de 10 sondeos eléctricos verticales (SEV), utilizando un arreglo tipo Schlumberger, en las proximidades de Médanos y La Mascota (Figura 5.1.1). A partir de las resistividades obtenidas y los criterios aplicados en base a la parametrización en diversas perforaciones, consideraron resistividades menores o iguales a 10 Ωm como el nivel de agua salobre, base física de la exploración. Estos valores de resistividad se atribuyen a un aumento en la salinidad del agua, que se incrementa con la profundidad. Las capas de resistividad de más de 10 Ωm , que sobreyacen a la anterior, se consideran la capa de interés productivo, con resistividades, en general, entre 15 a 50 Ωm . Por encima de toda la secuencia, la zona no saturada se diferencia con resistividades en general mayores a 100 Ωm (con variaciones de acuerdo a su contenido de humedad).



Figura 5.1.1. Ubicación de los SEVs realizados por Lexow y Bonorino (2012) en alrededores de Médanos y La Mascota, señalados con los íconos rojos. La línea roja marca el límite de la cadena de dunas.

Albouy *et al.* (2003) llevaron a cabo un estudio hidrogeológico de las Salinas Chicas, realizando 5 SEVs con un ala máxima AB/2 de 80 m, en la zona ubicada entre dichas salinas y la Laguna Chasicó, identificando mediante los mismos 3 capas. La primera de ellas, correspondiente a las arenas eólicas, presentó espesores que van entre los 4 y los 8 m, con resistividades que van entre 20 y 57 Ωm . La capa 2 señala el techo de la Fm. Chasicó, con resistividades entre 15 y 23 Ωm . Finalmente, en la capa 3, también correspondiente a la Fm.

Chasicó, se midieron resistividades de 4 Ω .m, debido a la presencia de sedimentos texturalmente más finos. Los SEV 1, 2 y 3 pueden integrarse en un perfil transversal para observar las variaciones laterales de los mismos (Figura 5.1.2).

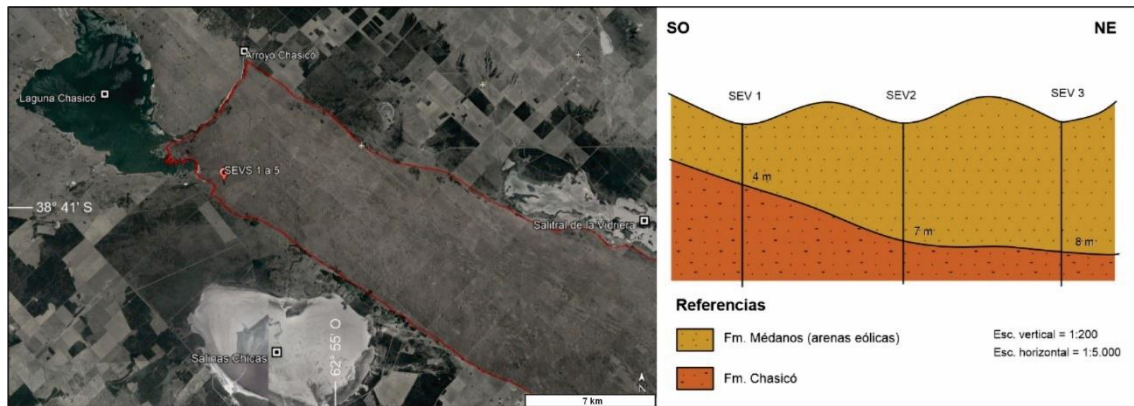


Figura 5.1.2. Ubicación y corte en perfil de los SEVs llevados a cabo por Albouy et. al (2003). La línea roja en el mapa señala el límite del área de estudio.

A fin de llevar a cabo una parametrización propia y comparar con los datos antecedentes antes mencionados, se realizaron dos tomografías de resistividad eléctrica, perpendiculares entre sí, en el campo de bombeo Las Escobas, sobre el borde SO de la cadena de médanos (Figura 5.1.3).



Figura 5.1.3. Ubicación de las dos imágenes de resistividad eléctrica realizadas en el campo de bombeo Las Escobas utilizadas para la parametrización de los valores de resistividad.

Teniendo en cuenta como referencia cutting y perfilaje eléctrico obtenido de pozos del mismo (Figuras 5.1.4), se logró darles un sentido geológico e hidrogeológico a las resistividades reales obtenidas del subsuelo en el área de estudio durante la realización de esta tesis, para

poder efectuar interpretaciones en sectores donde no se cuenta con datos preexistentes de perforaciones cercanas.

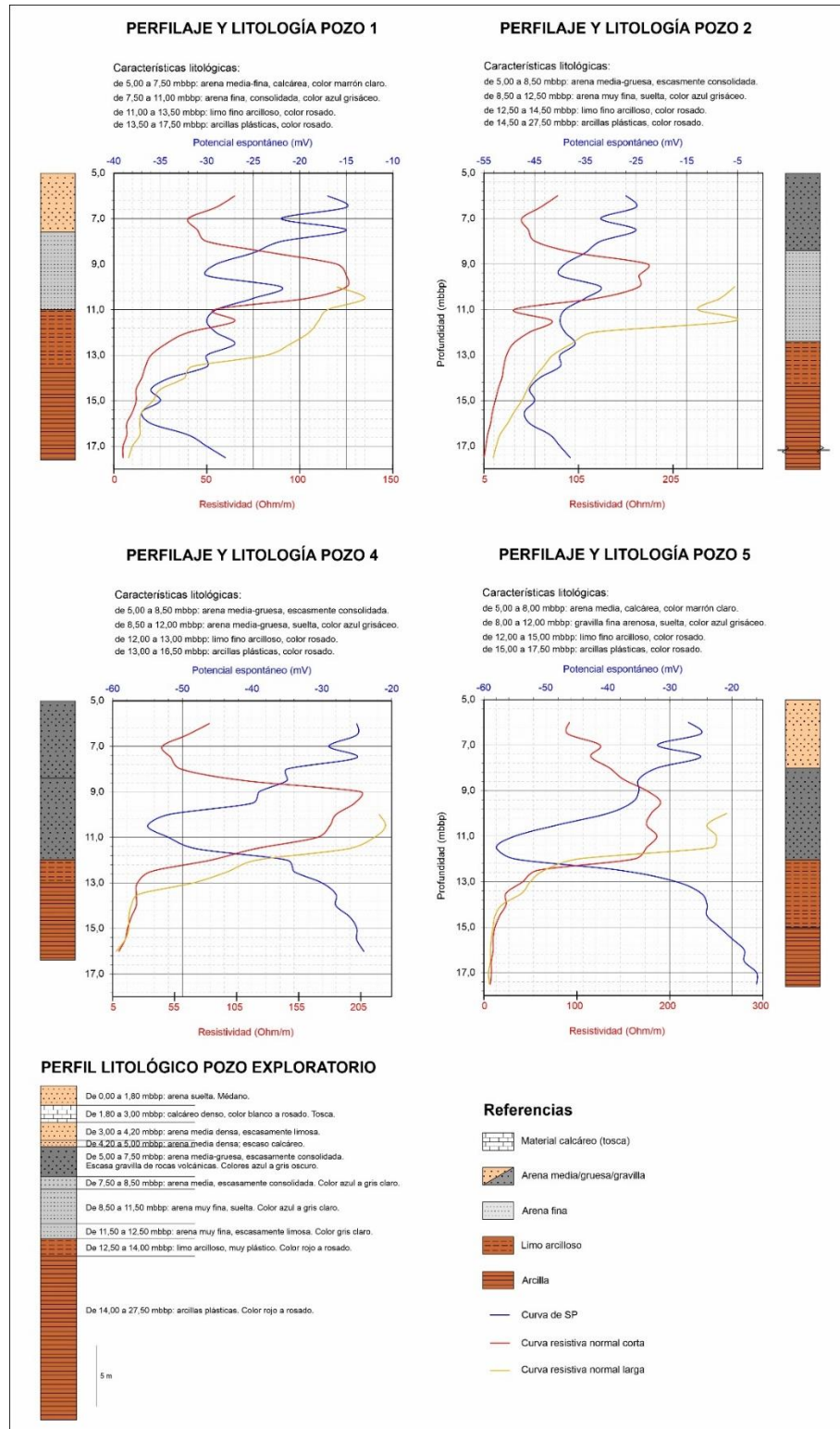


Figura 5.1.4. Perfiles litológicos y eléctricos de diferentes pozos ubicados en el campo de bombeo utilizados como referencia para parametrizar la geoeléctrica.

Estas tomografías, de 141 m de longitud cada una, fueron ejecutadas con un espaciamiento entre electrodos de 3 m, con un arreglo tipo Wenner Alpha, escogido debido a la disposición subhorizontal de las capas del subsuelo y la buena resolución vertical de dicho arreglo.

En el caso de la primera imagen de resistividad eléctrica (IRE) obtenida (Las Escobas 1), se puede observar una secuencia prácticamente horizontal (Figura 5.1.5), con valores asimilables a aquellos correspondientes al nivel freático posicionándose en profundidades de alrededor de 7 m al inicio de la progresiva (confirmado mediante una medición en un pozo cercano a esta), profundizándose levemente hacia el SE, alcanzando alrededor de 11 m de profundidad a los 51 m del inicio de la misma. Esta profundización del nivel podría estar asociada a los pozos que se encuentran bombeando en cercanías que ocasionan este descenso. A partir de este punto, el nivel se mantiene con mínimas variaciones. De esta manera, se puede establecer como zona no saturada (ZNS) aquellos valores de resistividad por encima de 100 $\Omega.m$, con variaciones de acuerdo al contenido de humedad de los sedimentos arenosos que componen la misma.

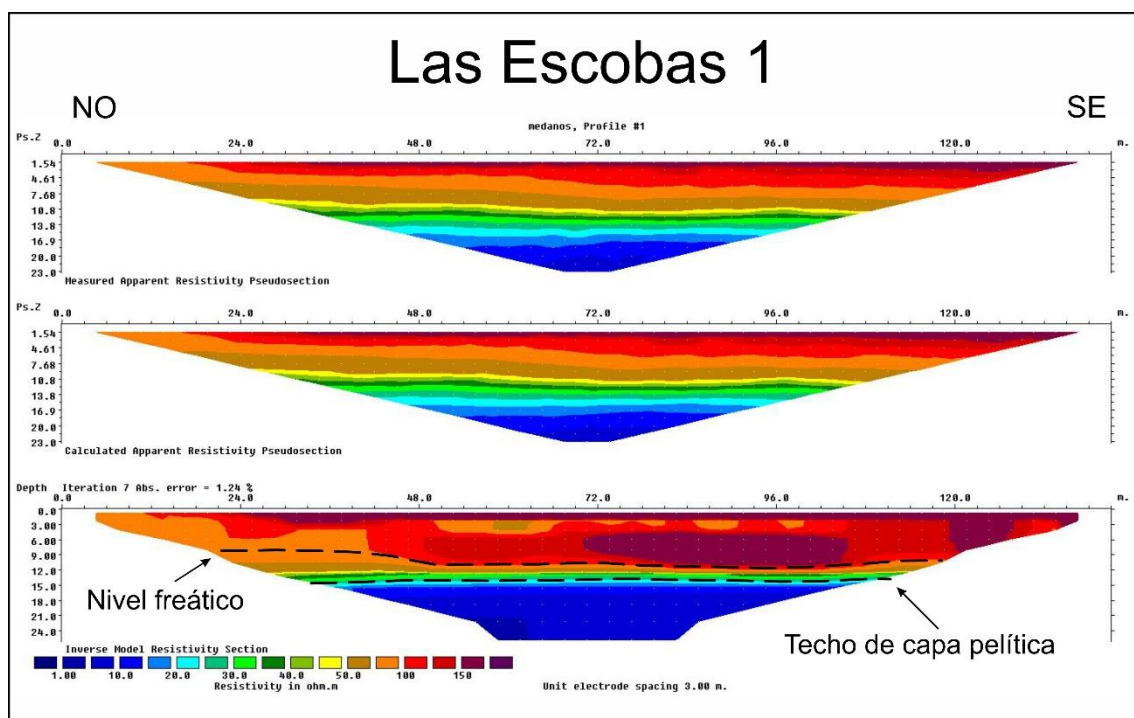


Figura 5.1.5. Primera tomografía eléctrica realizada en el campo de bombeo Las Escobas.

Por debajo del nivel freático y hasta alrededor de los 13 m de profundidad se encuentra una electrocapa con valores de resistividad entre 100 y 25 $\Omega.m.$, la cual se interpreta como arenas acuíferas que contienen agua de baja salinidad (entre 500 y 600 $\mu S/cm$, de acuerdo a mediciones de pozos situados en el sector que alumbran dicha capa acuífera). Esta electrocapa posee una potencia de unos 6 m hacia el inicio de la progresiva y disminuye hacia el sector

medio de la misma a unos 3 m, para volver a aumentar levemente de manera gradual hacia la parte final de la tomografía (metro 108 de la progresiva) a unos 4,5 m de espesor.

A los 13 m de profundidad, con resistividades menores a $25 \Omega.m$, se ubica el techo de una electrocapa asimilable a la secuencia pelítica (limos y arcillas con intercalaciones de areniscas) descrita en las perforaciones de referencia. Estos sedimentos marcarían el techo de la Fm. Chasicó y debido a su naturaleza fina, su mineralogía y los bajos valores de resistividad obtenidos, se descarta su utilidad como capa portadora de aguas susceptibles de ser explotadas, considerándose de esta manera la base física de la exploración.

En la segunda TRE de parametrización (Figura 5.1.6), realizada en sentido SO-NE en la misma zona, se observa un comportamiento de electrocapas similar, las cuales copian suavemente la topografía de los médanos. Si bien las capas muestran una profundización hacia el NE, si se tiene en cuenta la menor cota topográfica en esta dirección, los espesores se mantienen constantes a lo largo de toda la progresiva.

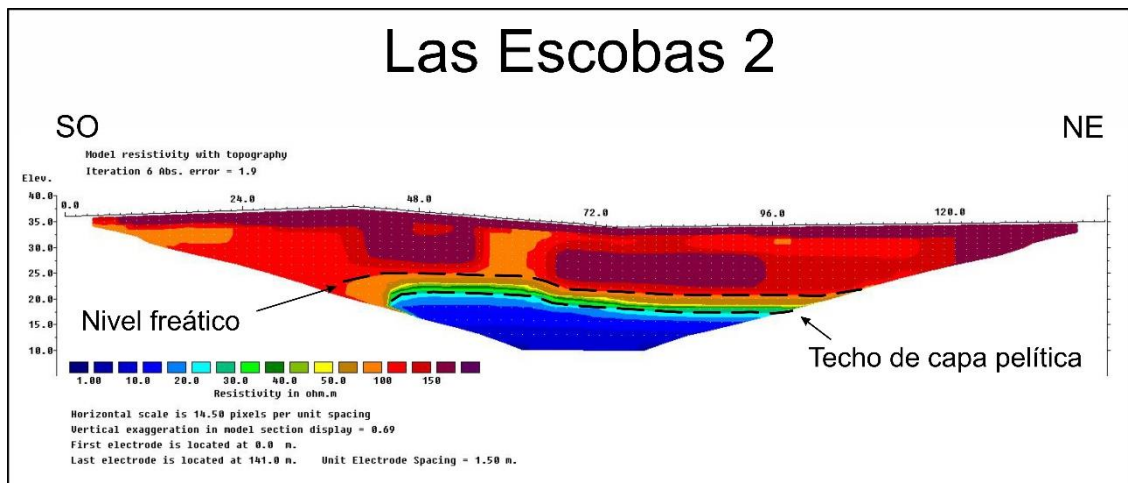


Figura 5.1.6. Segunda tomografía eléctrica realizada en el campo de bombeo Las Escobas.

Los valores de resistividad de alrededor de $100 \Omega.m$, asimilables como en el caso anterior al nivel freático, se observan a los 13 m de profundidad a lo largo de la mayor parte de la progresiva, mientras que las resistividades menores a $25 \Omega.m$ se ubican alrededor de los 16 m de profundidad. Como en el caso anterior, estos valores marcarían el techo de la secuencia pelítica portadora de aguas mineralizadas descrita en los pozos de referencia, correlacionables a la Fm. Chasicó, y marcarían la base física de la zona de exploración.

De esta forma, la electrocapa de interés, comprendida entre resistividades de 100 y $25 \Omega.m$, asimilable a arenas con agua de baja salinidad, mantiene en general su espesor, de unos 4 m, a lo largo de toda la progresiva.

A modo de resumen, se presentan en la Tabla 5.1.1 los valores resultantes de la parametrización obtenida mediante las dos tomografías antes descriptas, los cuales fueron utilizados como referencia para la interpretación de las IRE subsecuentes realizadas en el área de estudio.

Tabla 5.1.1. Valores de electrocapas utilizados en la zona de estudio para la interpretación de IREs.

Capa asimilable	Valores de resistividad de referencia
Zona no saturada	$> 100 \Omega.m$
Arenas con agua de baja salinidad	25 a $100 \Omega.m$
Secuencia pelítica (techo de Fm. Chasicó) con aguas salinizadas	$< 25 \Omega.m$

En síntesis, lo que se apuntará a identificar principalmente en las tomografías eléctricas de esta tesis, es principalmente la ubicación y espesor de la electrocapa de 25 a $100 \Omega.m$, portadora del nivel acuífero de interés en la zona.

5.2 IMÁGENES DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

Además de las dos tomografías de parametrización, se realizaron 5 más, distribuidas en el área de estudio (Figura 5.2.1), a fin de conocer la geometría del acuífero libre y el espesor saturado de interés en distintos sectores de la cadena de dunas. En todos los casos se utilizó un arreglo tipo Wenner alfa, con un espaciado entre electrodos de 5 m (para lograr alcanzar una profundidad de investigación apropiada para el caso), resultando en una longitud de cada tomografía fue de 235 m.

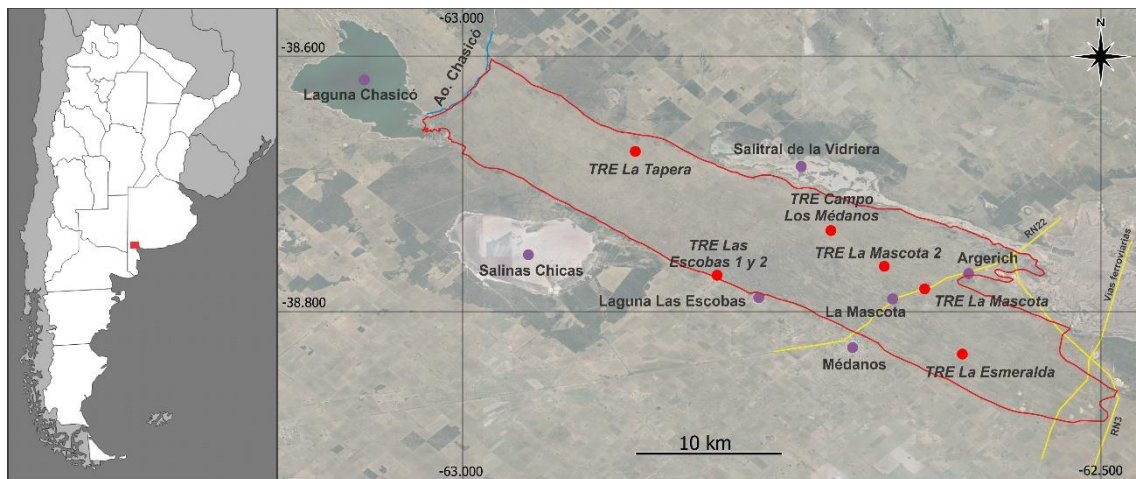


Figura 5.2.1. Mapa de ubicación de las tomografías realizadas en el área de estudio (delimitada en rojo).

A continuación, se analizará cada una de las IRE llevadas a cabo. A su vez, una copia a mayor resolución de cada una de ellas y sus datos completos puede encontrarse en el Anexo V.

IRE LA ESMERALDA

Esta imagen, obtenida dentro de la estancia homónima, se ubica a unos 6,5 km al este de la localidad de Médanos. Fue realizada en sentido SE-NO, longitudinalmente a la cadena de dunas.

En la misma (Figura 5.2.2) se observa una distribución de electrocapas subhorizontales a lo largo de toda la progresiva. Los valores de resistividad asimilables al nivel freático se ubican en torno a los 8 a 10 m de profundidad bajo nivel del terreno, lo cual es congruente con mediciones realizadas con sonda piezométrica en molinos cercanos. La ZNS puede reconocerse por encima con variaciones en los valores de resistividad leídos, debido a las diferencias en el contenido de humedad del suelo, sobre todo hacia el final de la progresiva, donde el mismo se encontraba visiblemente húmedo al momento de realizar la geoeléctrica.

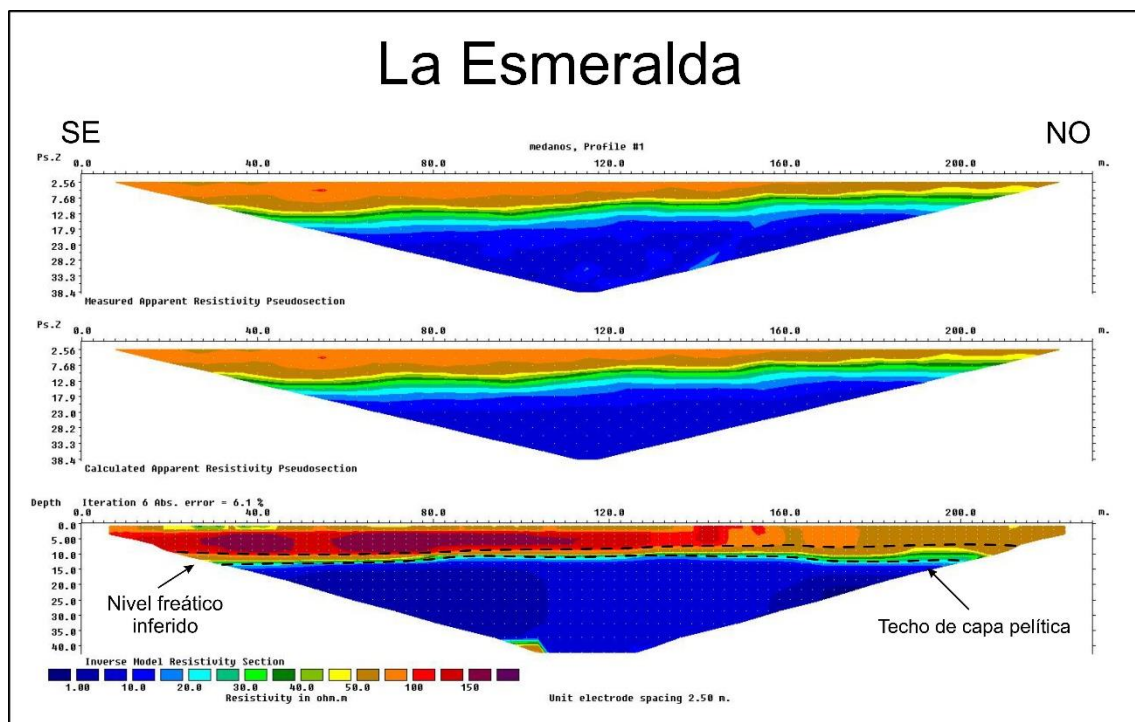


Figura 5.2.2. Imagen de resistividad eléctrica realizada en la Ea. La Esmeralda.

Entre los 13 y los 15 m de profundidad se ubican los valores de resistividad correlacionables al techo de la secuencia pelítica observada en los perfiles litológicos utilizados para la parametrización del método. Por debajo de este nivel se infieren aguas con alto tenor salino, que no serían susceptibles de ser explotadas. De esta manera, el espesor saturado con aguas de baja salinidad ronda los 3 m en esta porción de la cadena de dunas.

IRE LA MASCOTA

Esta tomografía (Figura 5.2.3) fue realizada en sentido perpendicular a la cadena de dunas, sobre el camino vecinal La Mascota/Argerich, que corre paralelamente a la ruta 22. Sobre la otra margen de la ruta se ubican 4 pozos de explotación de la prestataria del servicio de agua local. De acuerdo a las resistividades asignables a la ZNS, el nivel freático se ubicaría en torno a los 7 m de profundidad. La variación de los valores de resistividad en superficie podría correlacionarse a diferentes grados de compactación en los materiales arenosos producto del tráfico rural del camino sobre el que se realizó la IRE, observándose incluso entre los 165 y los 200 m de la progresiva valores que superar los 1000 Ω .m.

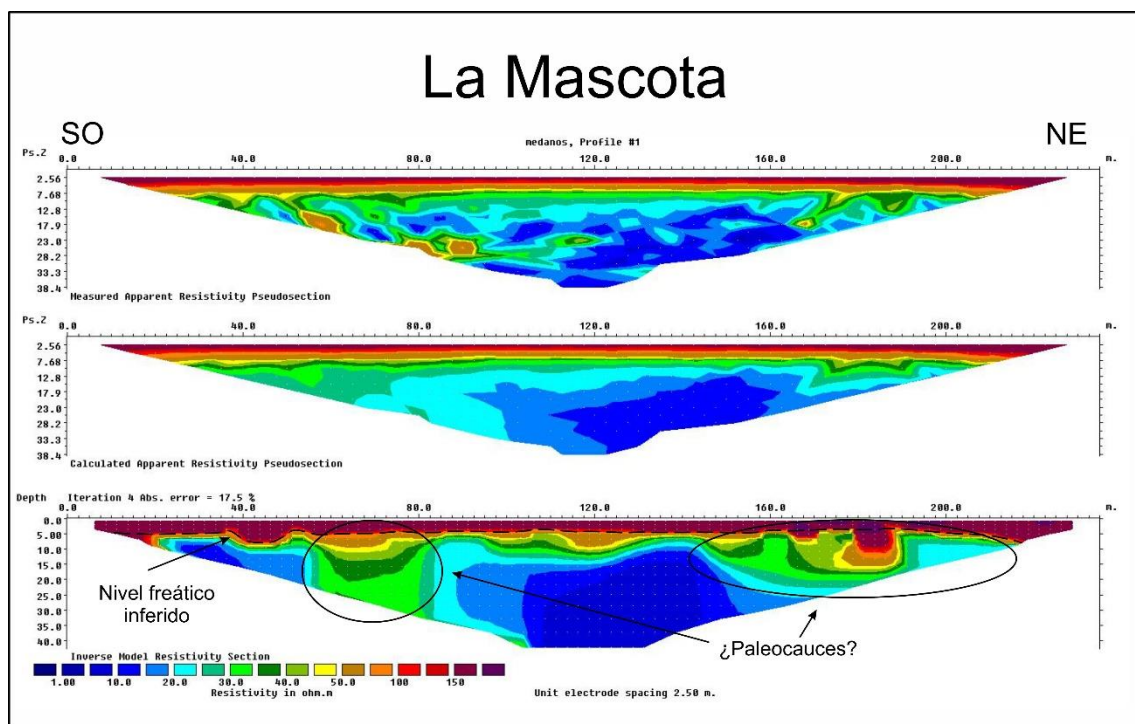


Figura 5.2.3. Imagen de resistividad eléctrica realizada en cercanías al campo de bombeo La Mascota.

En general el espesor saturado de interés, entre los 25 y los 100 Ω .m, de acuerdo a la distribución de resistividades, gira en torno a los 5 m. Sin embargo, se observan porciones de la progresiva, entre los 55 y los 85 m, y entre los 148 y los 194 m, en los que el mismo parecería mostrar un importante incremento, llegando incluso a superar los 30 m de espesor. Este aumento de espesor podría asociarse a estructuras similares a paleocauces, colmatados por las arenas del cordón de dunas, dando lugar a zonas preferenciales desde el punto de vista hidrogeológico. El agua extraída de perforaciones ubicadas a escasos metros de la TRE, presenta conductividades eléctricas en torno a los 600 μ S/cm, por lo que se infiere que estas estructuras portarían agua de calidad similar.

IRE LA MASCOTA 2

Esta tomografía se realizó en una zona de los médanos cercana a la ubicación de la imagen anterior (unos 2,5 kms al NO de esta), perpendicular al eje de la cadena de dunas. En la imagen (Figura 5.2.4) se puede inferir el nivel freático, de acuerdo a la distribución de las resistividades, alrededor de los 7 m de profundidad bajo el nivel del terreno, mientras que los valores asignables al techo de la secuencia pelítica se encuentran alrededor de los 10 m de profundidad. De esta manera el espesor saturado de interés varía entre los 3 y 4 m.

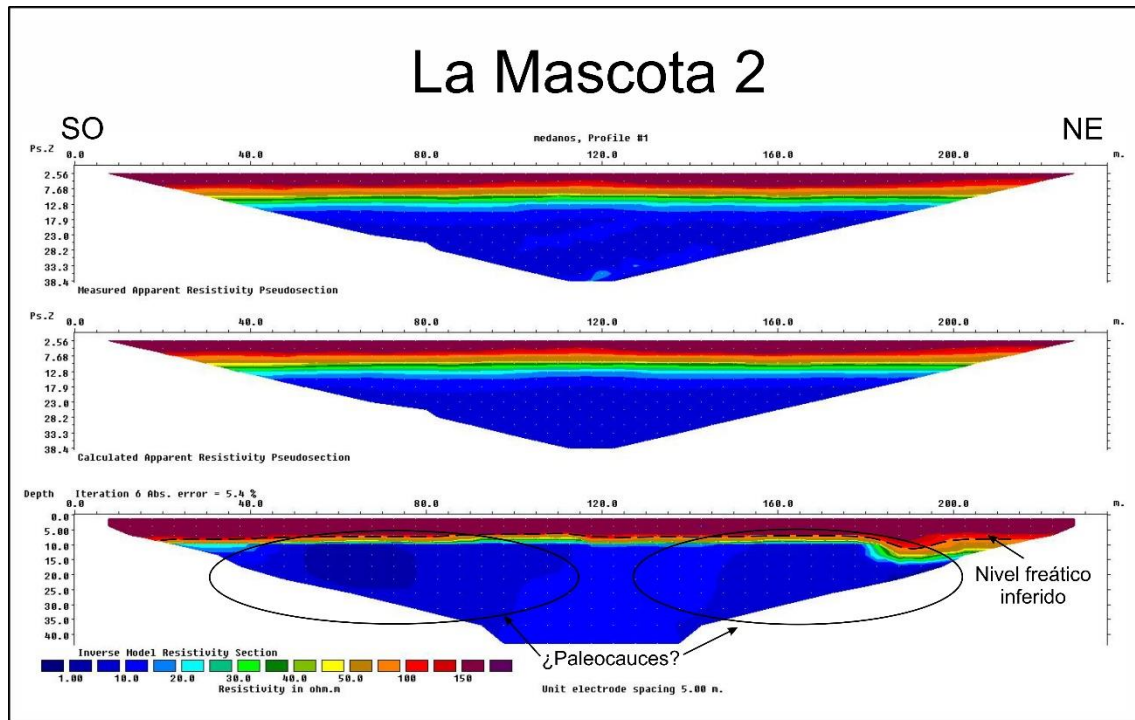


Figura 5.2.4. Imagen de resistividad eléctrica realizada unos 2 kilómetros al norte de la localidad de La Mascota.

Entre los 45 y 112 m y los 145 y 193 m de la progresiva se reconocen dos estructuras similares a las observadas en la IRE anterior, asimilables a paleocauces, aunque en este caso, la resistividad en el interior de las mismas es menor a 15 Ω .m. La cercanía de esta TRE respecto a La Mascota 1, permite suponer la presencia de paleocauces en el sector. Sin embargo, los valores de resistividad observados se encuentran fuera del rango de interés. Una posibilidad es que estas estructuras no se encuentren rellenas de arenas como se hipotetizó en la IRE La Mascota, sino de material más fino y retrabajado, dando lugar al perfil de resistividades que se observa en la imagen.

IRE CAMPO LOS MÉDANOS

Esta imagen de resistividad se realizó en sentido NO-SE, a unos 7,5 km de la localidad de La Mascota, cercana a la entrada del campo homónimo. La misma se ubicó

longitudinalmente a la cadena de dunas. Se puede observar a lo largo de la misma, una distribución de electrocapas subhorizontales (Figura 5.2.5) en toda la progresiva.

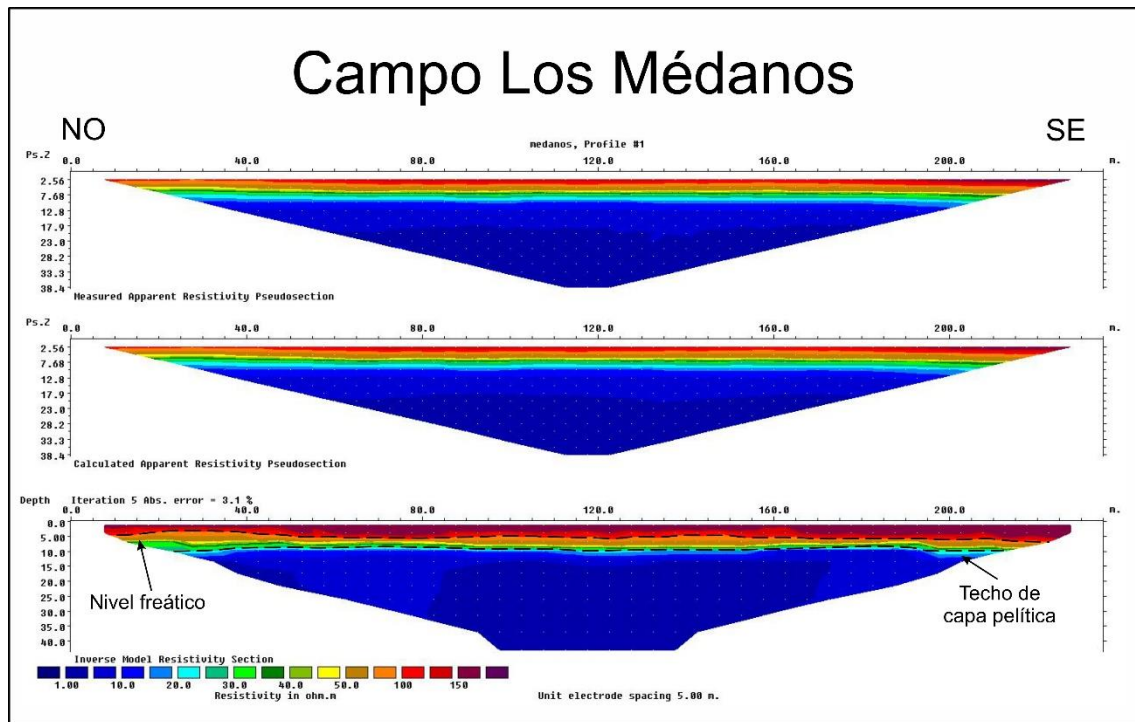


Figura 5.2.5. Imagen de resistividad eléctrica realizada en cercanías de la entrada al campo Los Médanos.

Los valores de resistividad asignables al nivel freático ubican al mismo en torno a los 3 m de profundidad bajo el nivel del terreno, mientras que aquellos correlacionables al techo de la capa pelítica que marcaría el límite de la Fm. Chasicó se encuentran entre los 8 y 10 m de profundidad. A partir de datos de campo de perforaciones cercanas, se constató la presencia de dicha capa a la profundidad observada en la IRE. De esta manera, el espesor saturado de interés ronda entre 5 m y 6 m, manteniéndose relativamente constante a lo largo del perfil.

IRE LA TAPERA

Esta tomografía se llevó a cabo a unos 22 kms al NE de la localidad de La Mascota, en sentido NO-SE. En la imagen se puede observar una distribución de electrocapas subhorizontales (Figura 5.2.6), similar a otras IRE ya analizadas. Los valores de resistividad asimilables al nivel freático ubicarían al mismo el torno a los 6 metros bajo nivel del terreno, coincidente con mediciones efectuadas en pozos cercanos.

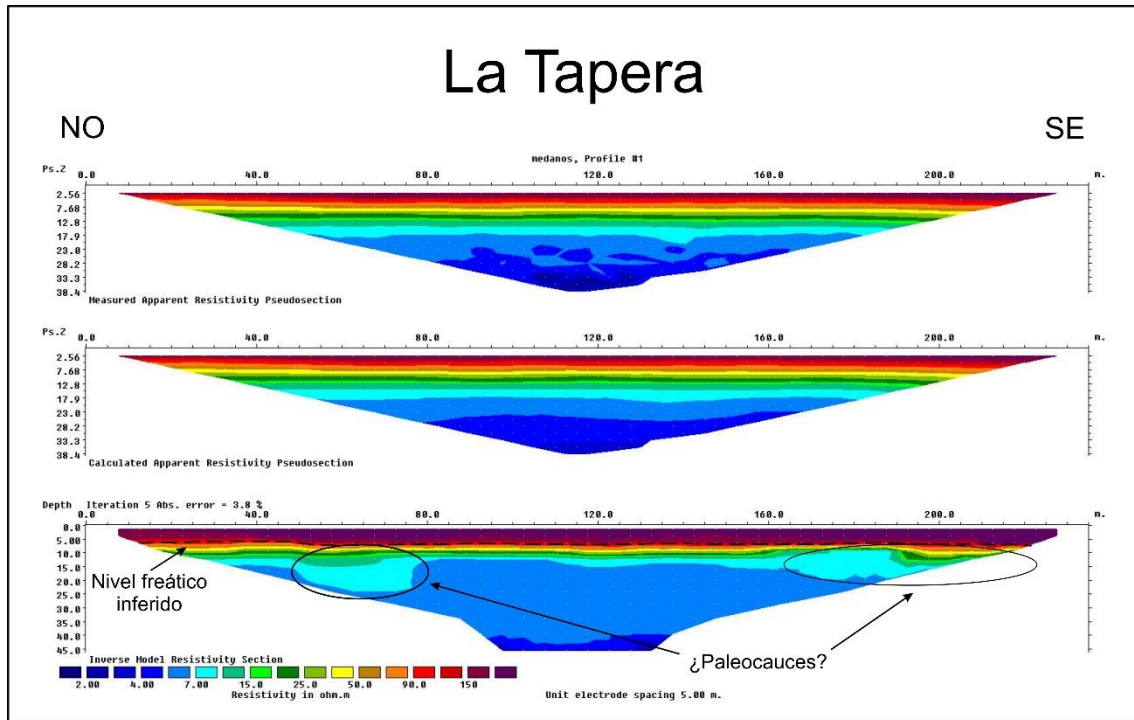


Figura 5.2.6. Imagen de resistividad eléctrica realizada en el camino entre el campo La Tapera y Ea. Los Surgentes, al NO de la cadena de dunas. En esta IRE en particular se utilizó una escala diferente de las anteriores para las resistividades con el fin de resaltar las estructuras inferidas.

Aproximadamente a los 10 m de profundidad, se reconocen valores de resistividad asimilables al techo de la secuencia pelítica (Fm. Chasicó), por lo que el espesor saturado de interés rondaría los 4 m. Es destacable la presencia de dos estructuras similares a paleocauces: la primera de ellas observable entre los 50 y los 77 m de la progresiva, y la segunda, menos marcada, a partir de los 167 m, aunque la resistividad que se presenta en el interior de estas (entre los 7 y los 25 $\Omega.m$) es menor a la determinada con anterioridad como correspondiente a capas de interés. Una explicación posible es que dichos paleocauces hayan sido rellenados por material fino, similarmente a los expuesto en la IRE La Mascota 2, resultando en el perfil de resistividades observado.

5.3 GEOMETRÍA DEL ACUÍFERO LIBRE DEL CORDÓN DE DUNAS

Integrando los datos obtenidos mediante las tomografías de resistividad eléctrica propias y 3 de los SEV realizados en la zona por Lexow y Bonorino (2012), considerando la parametrización propia para esta tesis, se confeccionaron 3 cortes geoelectricos/geológicos a partir de los espesores de las electrocapas (Figura 5.3.1): dos en dirección NO-SE, a lo largo de la cadena de dunas y el segundo en sentido SO-NE, cortando perpendicularmente el centro la misma.



Figura 5.3.1. Ubicación de cortes geoelectricos/geológicos esquemáticos.

En el corte A-A' (Figura 5.3.2) el espesor saturado con agua de baja salinidad se mantiene relativamente constante a lo largo del mismo (alrededor de 4,5 m) siendo levemente superior a la altura del Campo Los Médanos (6 m de espesor) y La Mascota (5 metros). La profundidad del techo de la capa pelítica correlacionable con la Fm. Chasicó se ubica entre los 9 y los 12 m.b.n.t, encontrándose a mayor profundidad en la zona central de La Mascota, correspondiente a su vez con el sector central de la cadena de dunas.

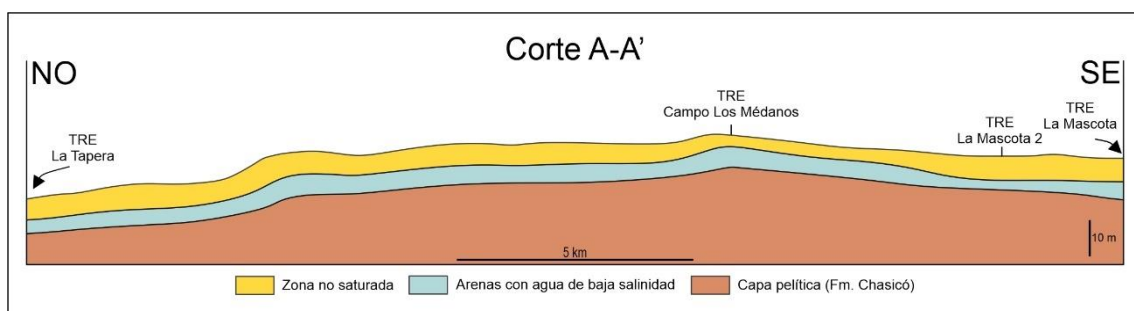


Figura 5.3.2. Perfil A-A'.

El corte B-B' (Figura 5.3.3) se ubica en el mismo sentido al anterior, pero sobre el flanco sudoeste del cordón de dunas. El espesor saturado con agua de baja salinidad a lo largo de todo el perfil es de entre 3 y 4 m, con el techo de la capa pelítica ubicándose entre 13 y 14 m.b.n.t.

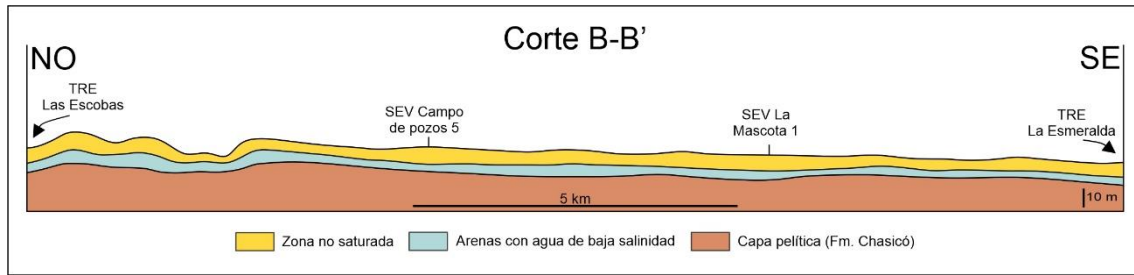


Figura 5.3.3. Perfil B-B'.

Por último, en el corte C-C' (Figura 5.3.4), que atraviesa perpendicularmente el cordón de dunas, el espesor saturado varía entre los 4 y 10 m, mientras que el techo de la capa pelítica se encuentra entre los 12 y los 18 m.b.n.t. Es en este único corte donde se notan variaciones en ambos elementos de tal magnitud. Si bien parecen ser fenómenos de carácter local, esto permite considerarla una de las zonas de mayor interés hidrogeológico para la explotación del recurso.

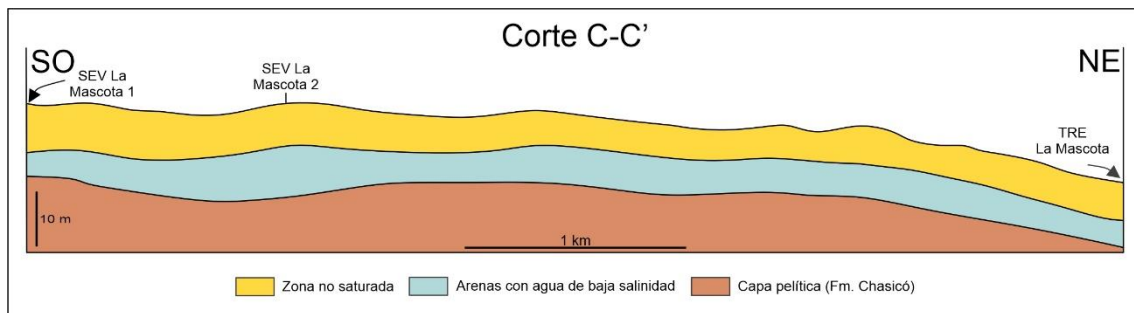


Figura 5.3.4. Perfil C-C'.

Los datos analizados permiten determinar que, a grandes rasgos, el espesor saturado con agua de baja salinidad es relativamente homogéneo a lo largo y ancho de la cadena de médanos, manteniéndose en general entre los 3 y los 5 m. Los mayores espesores tienden a observarse sobre la parte central del cordón de dunas, disminuyendo levemente hacia los bordes del mismo.

Sobre la parte central y el flanco noreste de la cadena de dunas, varias de las IRE obtenidas parecen dar indicios del desarrollo de un sistema de paleocanales en esta porción del área de estudio, como fue observado en la sección anterior. Estos paleocauces generarían sectores puntuales donde el espesor saturado de interés es considerablemente mayor, como es el caso de la IRE La Mascota, donde llega a superar los 30 m, y el SEV La Mascota 2, donde alcanza los 10 m. En el caso de la IRE La Mascota 2, las estructuras allí presentes se reconocen con resistividades menores a las consideradas de interés, por lo que cabe la posibilidad de que se encontraran rellenas de materiales más finos, denotando variaciones en la energía del sistema de paleodrenaje que las habría originado. Una hipótesis similar fue propuesta por Zavala *et al.* (2005) para el Cuaternario del sur de la provincia de Buenos Aires. A su vez, Farías *et al.*

(2009) propusieron la existencia de un sistema de paleocanales en la zona para explicar la presencia de arsénico en las aguas subsuperficiales del partido de Villarino.

El techo de la capa pelítica, asignable a la Fm. Chasicó, se ubicó en general entre los 8 y los 14 m.b.n.t., con la mayor profundidad de la misma registrada en la IRE La Mascota, donde supera de forma local los 35 m.b.n.t.

CAPITULO 6: HIDRÁULICA E HIDRODINÁMICA

6.1 ENSAYOS DE BOMBEO ANTECEDENTES Y PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Los ensayos de bombeo permiten calcular los parámetros hidráulicos que son necesarios, en principio, para estimar el comportamiento y la evolución del nivel freático en el acuífero, cuando el mismo es sometido a explotación. Son datos fundamentales a tener en cuenta para comprender el modelo de funcionamiento del sistema y poder realizar una gestión y manejo sustentable del recurso hídrico, si bien se trata de valores puntuales y con una gran variabilidad espacial dentro del mismo acuífero.

A partir de la recopilación de datos antecedentes de mediciones y cálculos de dichos parámetros, tanto de las Formaciones presentes en el área de estudio, como de unidades litológicas comparables en otras zonas, se confeccionó la Tabla 6.1.1.

Tabla 6.1.1. Parámetros hidráulicos calculados por otros autores (s/d: sin determinar). En negrita se destacan los valores pertenecientes al cordón de dunas del área de la zona de estudio.

UBICACIÓN	UNIDAD	AUTORES	T (m ² /d)	K (m/d)	S	Velocidad (m/d)	MÉTODO	OBSERVACIONES
Área de estudio	Fm. Chasicó	Albouy et al. (2003)	s/d	0,01	s/d	s/d	s/d	-
No especificado		DIPAC (2017)	50	2,5	s/d	s/d	No especificado	-
Área de estudio	Fm. Río Negro	Bonorino (1974)	s/d	s/d	0,2 - 0,24	s/d	Ensayo de laboratorio	-
Área de estudio		Bonorino (1979)	29 - 439	0,6	0,2 - 0,25	0,0018 - 0,0021	Recuperación residual (T)	K y S tabuladas (Castany, 1963)
Colonia San Adolfo		Bonorino y Alvarez (1983)	278 - 653	4 a 7	0,04 - 0,26	s/d	Theis/Jacob/Boulton	Drenaje diferido
Área de estudio	Cordón de dunas	Bonorino (1979)	s/d	17	0,2	0,17	-	K y S tabuladas (Castany, 1963)
		Consultor privado (inédito)	32,5 - 38,8	s/d	s/d	s/d	Theis	-
		Bonorino et al. (1989a)	82 - 101	5,4	0,11 - 0,091	s/d	Theis/Jacob	-
General Pico - Dorila (La Pampa)	Arenas eólicas	Malán (1980)	s/d	17 - 29	0,11 - 0,17	s/d	Theis	-
		Malán (1983)	s/d	20	0,11	s/d	Theis	-
Monte Hermoso	Médano costero	Ruffo (2022)	217	21	0,21	0,14 - 0,53	Neuman	Drenaje diferido
Monte Hermoso	Médano costero	Di Martino (2014)	43 - 160	2,3 - 9,5	0,2	s/d	Neuman	Drenaje diferido
Pinamar	Médano costero	Rodriguez Capítulo (2015)	17 - 153	4 - 69	1,4x10 ⁻⁴ - 9,7x10 ⁻³	s/d	Theis/Jacob	-

Según estos estudios previos, la porosidad eficaz estimada para el cordón de dunas por Bonorino (1979) es de 0,20. Este valor fue obtenido mediante tabla, según Castany (1963), y es el utilizado por autores subsecuentes en diferentes trabajos realizados en el área. A su vez, es

muy similar al obtenido en cordones arenosos de características y granulometría similares al del caso de estudio, por lo que puede considerarse como un valor válido para este parámetro.

La conductividad hidráulica o permeabilidad varía, según los datos antecedentes disponibles, entre 5,4 y 17 m/d, siendo este último muy similar al obtenido por otros autores para casos análogos. Por otro lado, a partir de las curvas granulométricas de las muestras de sedimento extraídas del área de estudio (*crf.* Capítulo 4, sección 4.1.2), se calculó este parámetro utilizando la ecuación de Hazen (Custodio y Llamas, 1983), la cual se expresa como:

$$K_0 = c \cdot d_e^2$$

Donde k_0 es la permeabilidad en cm/s, c es una constante a la que se le asignó, como es usual, un valor de 100 (siendo el margen de variabilidad más frecuente entre 90 y 120, según Cedergren; 1967) y d_e es el diámetro equivalente en cm (es decir, el valor d_{10} de la curva granulométrica).

Utilizando esta fórmula, se obtienen permeabilidades entre 22,95 y 9,10 m/d (Tabla 6.1.2), con un valor promedio de 16,55 m/d, congruente con los datos antecedentes del área de estudio y zonas similares.

Tabla 6.1.2. Valores de permeabilidad obtenidos mediante la fórmula de Hazen para las muestras de sedimento del área de estudio.

Muestra	Permeabilidad (m/d)
LM4	22,95
P28	22,12
P32	12,44
P33	17,42
P35	15,28
P45	9,10
Promedio	16,55

Los valores de transmisividad antecedentes para zonas medanosas alcanzan valores entre 17 y 217 m²/d. Aquellos correspondientes al cordón de dunas del área de estudio mencionados en la Tabla 6.1.1 fueron obtenidos mediante dos ensayos de bombeo y recuperación realizados en pozos entubados de la prestataria de agua de la zona, en cercanías de la localidad de La Mascota en el año 2016 (Figura 6.1.1), arrojando un valor entre 32,5 y 38,8 m²/día para pozos entubados. Cabe aclarar que estos son fuertemente dependientes del diseño de la captación y presentan una gran variabilidad de un pozo a otro. A su vez, al observarse, en general, espesores saturados reducidos del acuífero, los valores de T alcanzados no son altos.

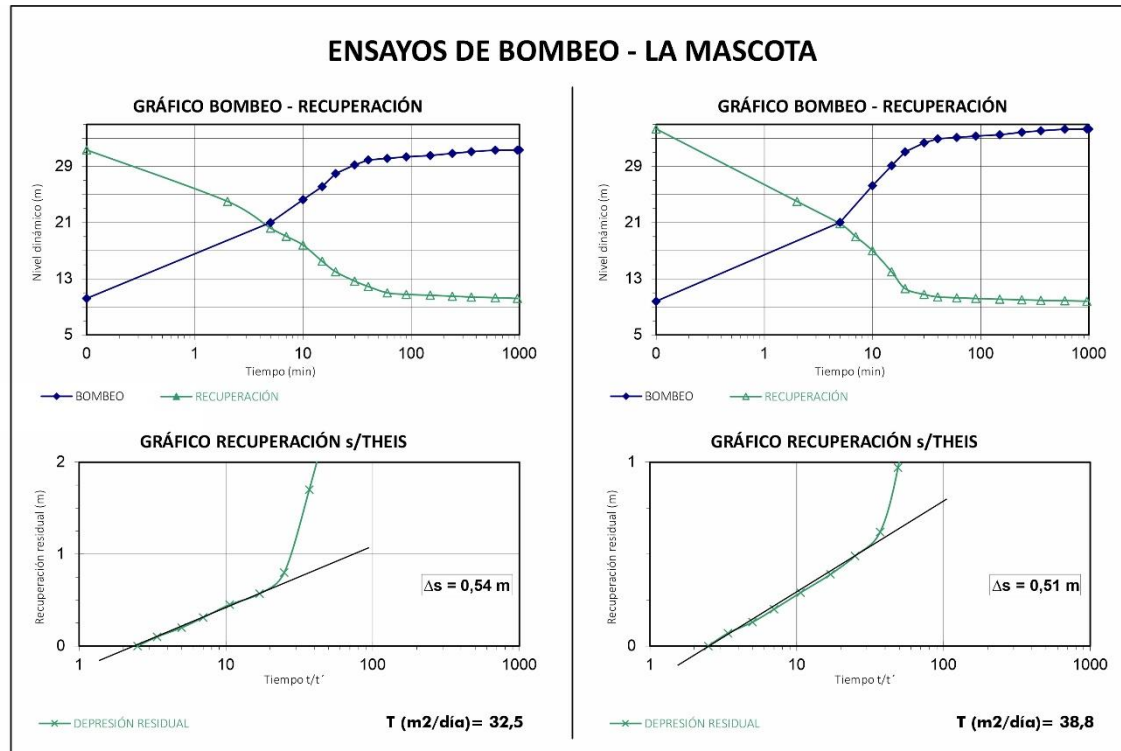


Figura 6.1.1. Ensayos de bombeo realizados por ABSA en los pozos cercanos a la localidad de La Mascota.

Si se tienen en cuenta las permeabilidades obtenidas mediante la fórmula de Hazen y los espesores saturados determinados mediante tomografías de resistividad eléctrica cercanas, se obtienen transmisividades para el acuífero freático entre 45 y 115 m²/d, con un promedio de 77 m²/d.

Teniendo en cuenta todo lo anteriormente expuesto, se pueden considerar como parámetros hidráulicos representativos para el acuífero libre del cordón de dunas: un coeficiente de almacenamiento de 0,2 (es decir, una porosidad efectiva del 20%), una conductividad hidráulica o permeabilidad (K) de 17 m/d y una transmisividad (T) entre 32,5 y 115 m²/d. Se debe considerar que este último valor presentará, como se mencionó anteriormente, una gran variabilidad, dependiendo fuertemente de la ubicación de la captación en la cadena medanosa, el diseño de la misma y su eficiencia. Estos valores son similares a los observados en acuíferos freáticos psamíticos comparables a los del área de estudio.

6.2 HIDRODINÁMICA

6.2.1 INTRODUCCIÓN

A partir de los datos de campo obtenidos del censo de pozos y puntos de agua, se logró determinar el modelo hidrodinámico en el área de estudio. La explotación del agua subterránea en la zona se realiza principalmente mediante molinos y por bombas eléctricas sumergibles

(Figura 6.2.1.1). La gran mayoría de los puntos medidos en esta tesis corresponden a molinos de campos. Se trata en general de pozos someros, que rondan entre 8 y 24 m, llegando excepcionalmente a los 40 m de profundidad.



Figura 6.2.1.1. Tipos de captaciones en el área de estudio: molinos (izquierda) y pozos con bombas electrosumergibles (derecha).

A escala regional, se postula que el flujo proveniente de la llanura circundante (Figura 6.2.1.2) provoca que el agua más salina de éstas se encuentre con la del acuífero freático contenido en el cordón medanoso, generando una zona de mezcla, de tal manera que se generaría una lente de agua dulce superficial suprayacente a una capa de mayor salinidad, proveniente del flujo regional más profundo y de más largo recorrido.

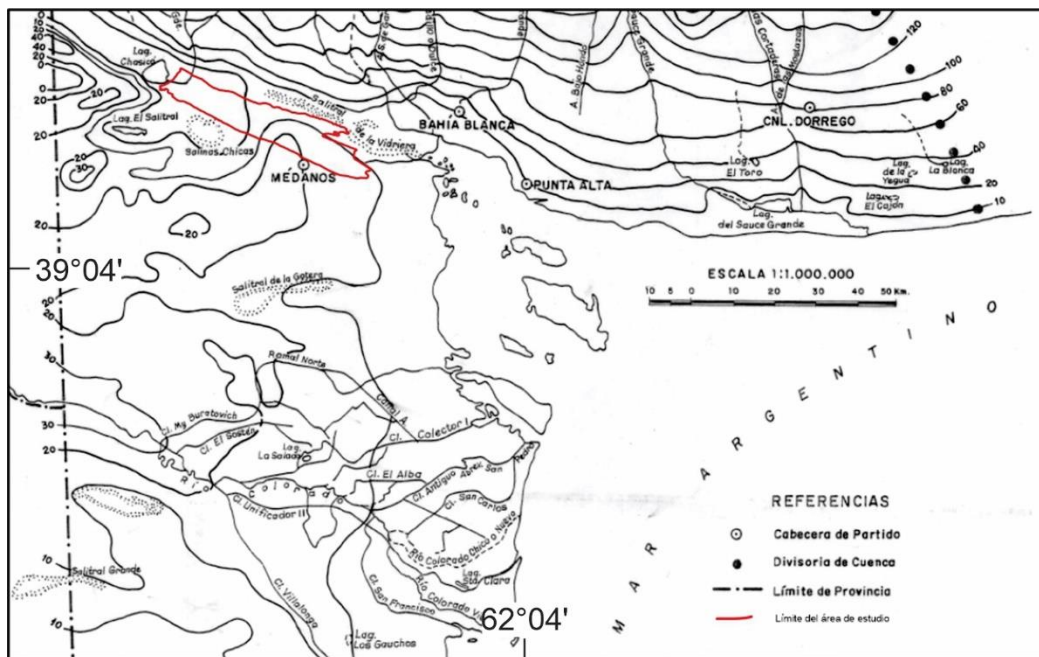


Figura 6.2.1.2. Mapa isofreático a escala regional, modificado de CFI (1993).

La morfología freática se encuentra íntimamente relacionada con la topografía del sector, tendiendo a copiar a grandes rasgos la misma (Figura 6.2.1.3), condicionando de esta manera el comportamiento hidrodinámico en la cadena de dunas.

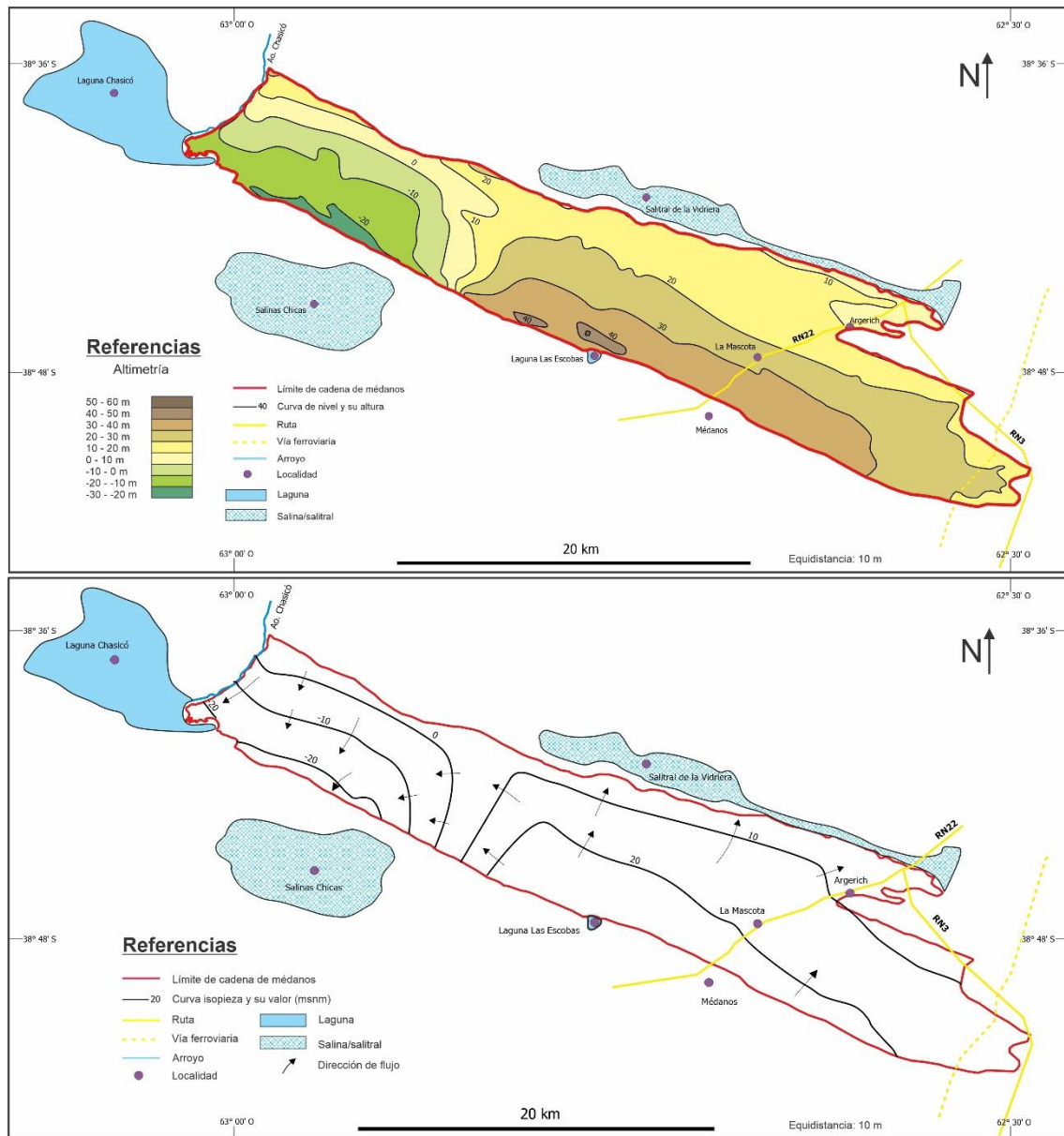


Figura 6.2.1.3. Mapa topográfico y piezométrico simplificado del área de estudio.

6.2.2 FLUJO SUBTERRÁNEO

Mediante la realización del mapa de isopiezas (Figura 6.2.2.1) se logró reconocer detalladamente la dirección del flujo subterráneo del acuífero freático en el cordón de dunas y los gradientes hidráulicos del sector.

La dirección del agua subterránea sigue a grandes rasgos la inclinación del terreno, con flujos radiales superpuestos de descarga en las áreas interduna (Albouy, 2005), condicionados

por la morfología local, dando lugar en ocasiones a bajos donde el nivel freático puede llegar a encontrarse aflorante, conformando humedales cuya temática se tratará en profundidad en el Capítulo 10. De esta manera, se pueden identificar dos sistemas de flujo superpuestos: uno somero, de tipo local, con recorridos cortos, y otro más profundo, de carácter regional y recorridos más extensos.

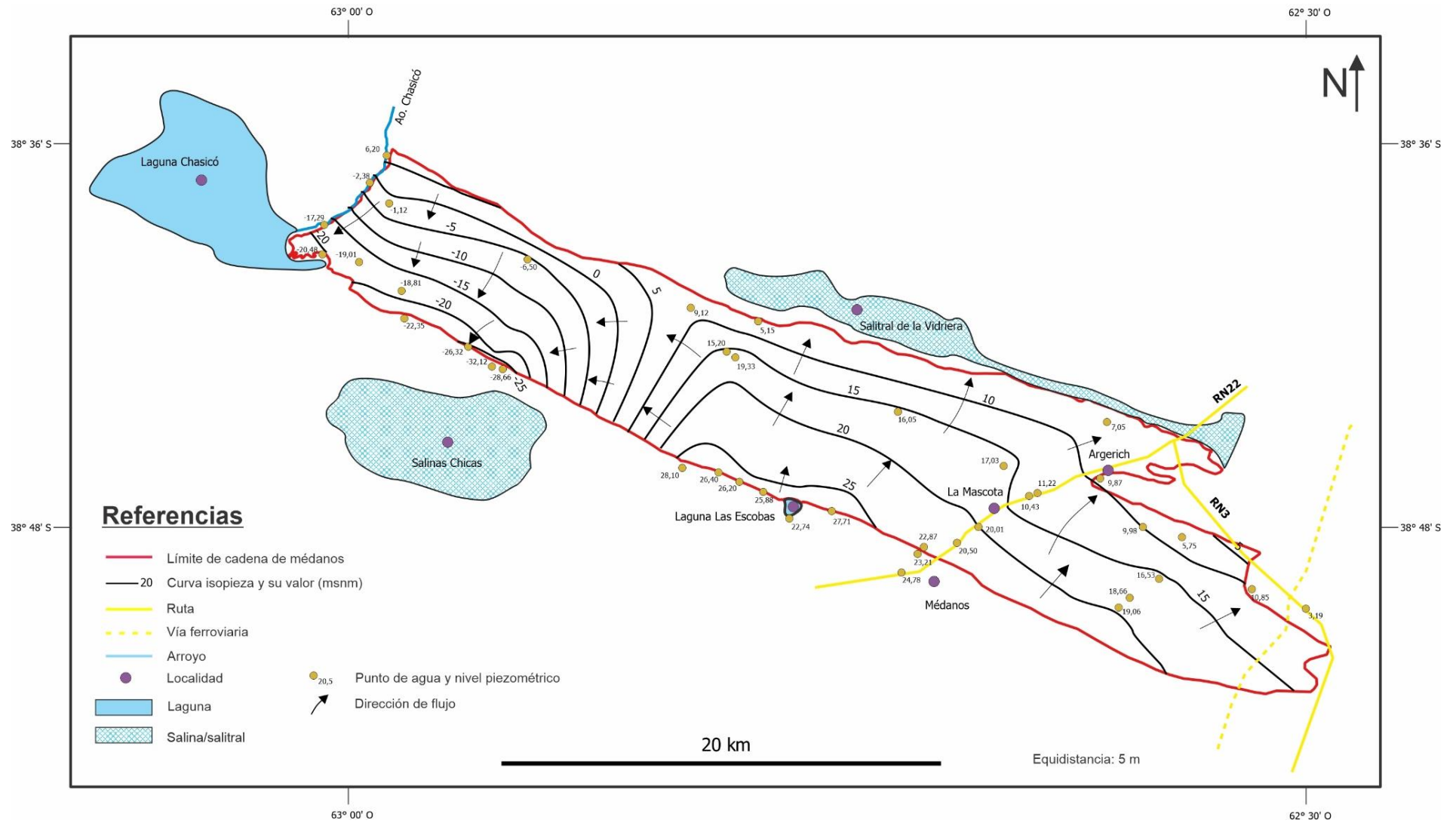


Figura 6.2.2.1. Mapa de isopiezas de flujo regional del acuífero freático medanoso en el área de estudio. Los flujos radiales de recorrido corto no fueron representados en esta figura.

Utilizando el software Golden Surfer, se generó un modelo 3D de la morfología de la superficie freática (Figura 6.2.2.2), utilizando como método de interpolación para los datos el algoritmo "Natural Neighbour". Se puede apreciar a simple vista que los mayores niveles piezométricos se tienden a ubicar en la porción sudeste del cordón de dunas, mientras que las cotas piezométricas más bajas se ubican en la porción noroeste.

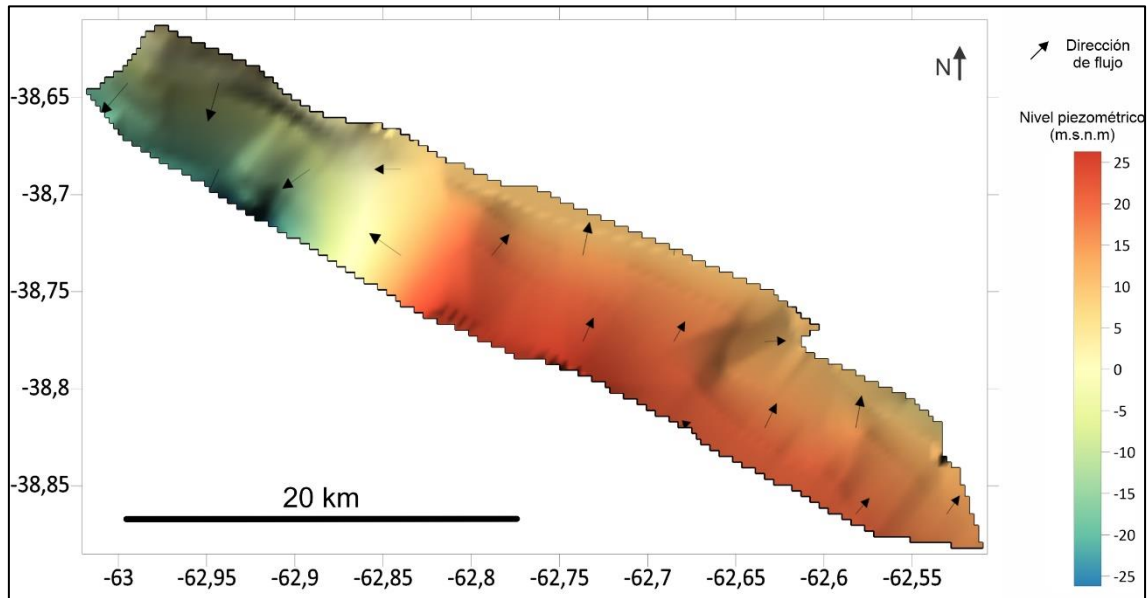


Figura 6.2.2.2. Superficie freática y líneas de dirección de flujo, generados mediante el software Surfer.

De acuerdo a las variaciones en las características del área de estudio, resulta conveniente dividir la misma en 3 sectores y analizar separadamente cada uno de ellos (Figura 6.2.2.3). En la porción este (sector A), el agua subterránea sigue una dirección SO-NE, hacia el Salitral de la Vidriera, el cual actúa naturalmente como área de descarga debido al bajo topográfico que conforma. El gradiente hidráulico tiene máximos de 3,2 ‰ y mínimos de 1,4 ‰, con el gradiente promedio ubicándose en 2 ‰. Considerando un valor de permeabilidad de 17 m/d y una porosidad eficaz de 20% (crf. Capítulo 6, sección 6.1), la velocidad efectiva del agua subterránea varía entre 0,27 y 0,12 m/d, con un promedio de 0,17 m/d. Estos valores solo corresponden al acuífero contenido en las arenas, ya que los sedimentos subyacentes al cordón de dunas poseen características hidráulicas diferentes y son congruentes con los calculados por Bonorino (1979) para esta porción de la cadena de médanos.

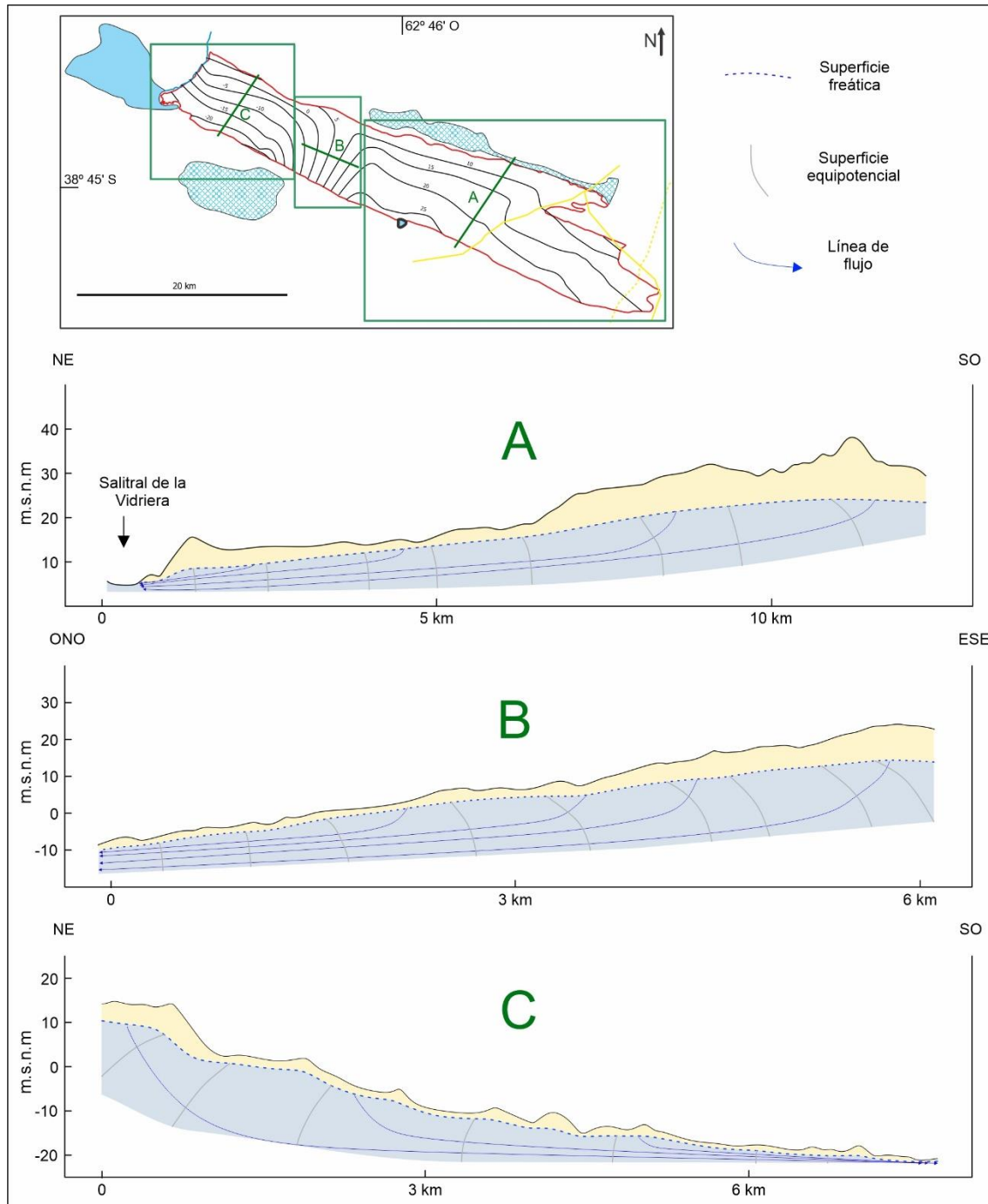


Figura 6.2.2.3. Sectores del área de estudio divididos de acuerdo a sus características piezométricas y cortes esquemáticos del acuífero psamítico de cada uno. La escala no permite apreciar los flujos locales de descarga hacia las áreas de interduna.

Debido a los núcleos urbanos presentes, este sector presenta algunos rasgos piezométricos particulares. A lo largo del trayecto que atraviesa la Ruta Nacional 22, entre localidades de Médanos, La Mascota y Argerich, se puede observar una inflexión en las curvas isopiezas que no se condice con los rasgos topográficos de la superficie del terreno (Figura 6.2.2.4). Su presencia podría asociarse a una profundización en los niveles vinculada al bombeo de agua subterránea mediante las numerosas obras de captación existentes en el sector, que

aglomera casi la totalidad de los habitantes del área de estudio considerada. El mismo efecto se observa en la curva equipotencial de 25 m.s.n.m., al oeste de la Laguna Las Escobas, producto del campo de bombeo homónimo.

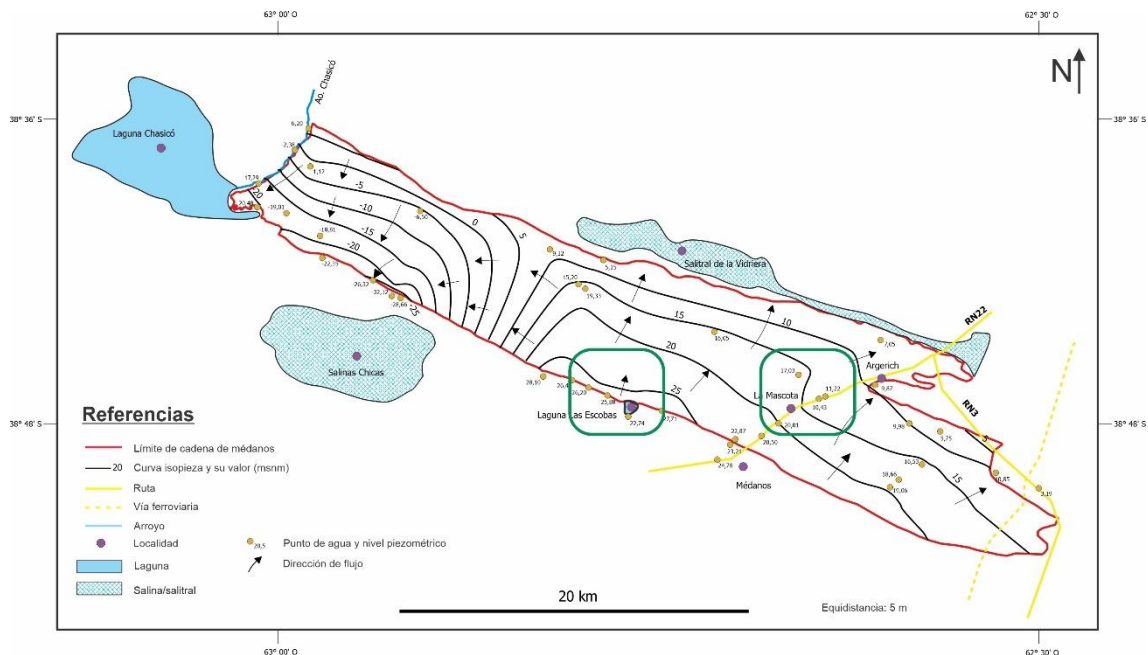


Figura 6.2.2.4. Inflexiones en curvas isopiezas, destaca con recuadro verde.

En campo de bombeo La Morocha, ubicado unos 2 km al sudeste de Médanos, no fue posible realizar mediciones de nivel, debido a que todos los pozos se encuentran tapados y cerrados, por lo que no se cuenta con información de la piezometría en detalle de esa porción del área de estudio en particular. La Laguna Las Escobas corresponde a una depresión local, la cual recibiría aguas del flujo proveniente de la llanura circundante. Los flujos subterráneos de carácter local que podrían intersectarla no se encuentran graficados en el mapa debido a la escala del mismo.

En la porción oeste de la zona de estudio (sector C), la cual cuenta solo con población rural dispersa, el flujo sigue una dirección NE-SO, descargando parcialmente hacia las depresiones de Salinas Chicas y la Laguna Chasicó. El gradiente hidráulico es mayor que en el caso anterior (producto de un mayor desnivel topográfico), con máximos de 13 ‰ y mínimos de 2,8 ‰, con un valor promedio que se ubica en el orden de 3,5 ‰. Considerando los mismos parámetros utilizados con anterioridad, la velocidad efectiva del agua subterránea varía entre 1,1 y 0,24 m/d, con un promedio de 0,3 m/d.

El cambio en el sentido del flujo entre los dos sectores descriptos, se da aproximadamente en el centro de la cadena de médanos (indicado como sector B), posiblemente relacionado a las características topográficas allí presentes. La dirección general de flujo es ESE-ONO. El gradiente hidráulico se ubica entre 3,9 y 3 ‰, con un valor promedio de

alrededor de 3,6 ‰. La velocidad efectiva del agua subterránea varía entre 0,33 y 0,26 m/d, con un promedio de 0,31 m/d.

Todos los valores calculados (sintetizados en la Tabla 6.2.2.1) se encuentran dentro del orden de magnitud lógico para el tipo de acuífero tratado y son coherentes con aquellos calculados en estudios antecedentes del área y por otros autores en zonas de características similares.

Tabla 6.2.2.1. Valores de gradiente y velocidad del agua subterránea para los tres sectores considerados.

		Sector A	Sector B	Sector C
Gradiente hidráulico (‰)	Máximo	3,2	3,9	13
	Mínimo	1,5	3,0	2,8
	Promedio	2,0	3,6	3,5
Velocidad efectiva del agua subterránea (m/d)	Máximo	0,27	0,33	1,1
	Mínimo	0,12	0,26	0,24
	Promedio	0,17	0,31	0,3

Realizando un cálculo simple de la edad hidráulica, si se considera el promedio de las velocidades efectivas, es decir, 0,26 m/d, el agua subterránea tardaría aproximadamente unos 105 años en recorrer el ancho de la cadena (tomando unos 10 km de trayecto), desde una zona de recarga hacia una de descarga.

En lo que respecta al arroyo Chasicó (límite noroeste del área de estudio considerada), de acuerdo a la topografía y configuración de las isopiezas, resulta levemente ganador respecto al acuífero. Bonorino *et al.* (1989a) realizaron un cálculo del caudal subterráneo aportado, obteniendo un valor de 0,075 m³/s para la margen izquierda del arroyo, en el sector comprendido entre la laguna Los Chilenos y el puente de la RN35. Sin embargo, para la porción comprendido entre el puente de dicha ruta y la desembocadura del arroyo, no detectaron aportes subterráneos significativos (0,01 m³/s), posiblemente debido a las características hidráulicas del fondo del cauce.

Como se mencionó anteriormente, la laguna Chasicó se comporta en parte como área de descarga del acuífero alojado en estos médanos, recibiendo principalmente agua de precipitación y, en menor medida, del arroyo homónimo, subterránea y de escorrentía superficial (Bonorino *et al.*, 1989a). De acuerdo a estudios hidroquímicos llevados a cabo por

Puntoriero *et al.* (2014), el agua subterránea no sería la principal fuente de abastecimiento de la Laguna Chasicó. Así mismo, las Salinas Chicas constituyen otra zona de descarga del agua subterránea de los médanos aledaños.

A su vez, el acuífero freático se encuentra conectado hidráulicamente al alojado en la Formación Chasicó, con características diferenciadas, pero íntimamente relacionados, ya que entre ellos no hay niveles que interrumpan la conexión hidráulica.

En lo que respecta al espesor de la zona no saturada (ZNS) (Figura 6.2.2.5), el mismo varía generalmente entre los 12 y los 2,5 m. Los mayores espesores se registran en el sudeste de la cadena, coincidente con las mayores cotas topográficas, y principalmente en los alrededores de la localidad de Médanos, posiblemente influenciados por las numerosas captaciones en el núcleo urbano que deprimen la capa freática.

El efecto producido por los campos de bombeo sobre el nivel freático se observa al analizar el mapa isopáquico de la ZNS, donde las isolíneas de 8 m son alteradas debido al bombeo existente en las cercanías de La Mascota y oeste de la Laguna Las Escobas. Como se mencionó anteriormente, en campo de bombeo La Morocha no fue posible realizar mediciones de nivel, por lo que no se cuenta con información en detalle de la freatimetría de esa porción de la zona.

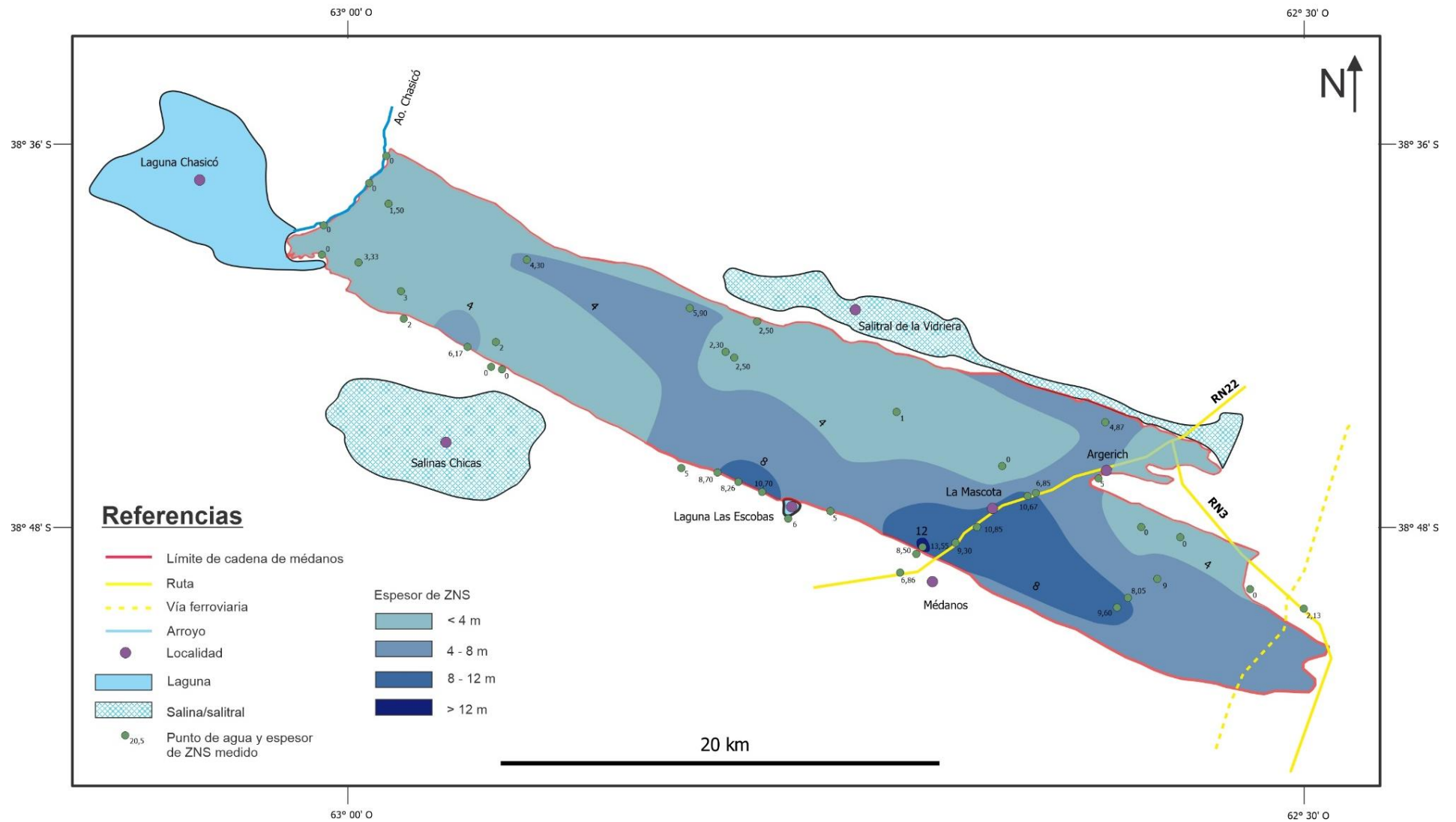


Figura 6.2.2.5. Mapa isopáquico de la zona no saturada del área de estudio.

Los menores espesores de la ZNS se ubican mayormente en el sector noroeste de la cadena. El área ocupada por cada intervalo de espesor de ZNS considerado en el mapa se muestra en la Tabla 6.2.2.2.

Tabla 6.2.2.2. Área de la zona de estudio ocupada por cada intervalo de espesor de ZNS considerado en el mapa isopáquico.

Espesor de ZNS	Área ocupada (km ²)	Porcentaje del total del área de estudio
< 4 m	220,48	50,41 %
4-8 m	173,85	39,75 %
8-12 m	43	9,83 %
>12 m	0,05	0,01 %

Como puede observarse, en la mayor parte del área de estudio (50,41 %), el espesor no llega a superar los 4 m, mientras que en la amplia mayoría de la misma (90 %) no llega a superar los 8 m.

6.2.3 VARIACIONES DEL NIVEL FREÁTICO

En un pozo fuera de uso (LE5) ubicado sobre el borde de la cadena de dunas en el campo Las Escobas, a unos 10 km al NO de la localidad de Médanos (Figura 6.2.3.1), se registraron las variaciones del nivel freático diarias durante el período de un año. Las mediciones abarcan desde el 22 de abril de 2021 hasta la misma fecha del año 2022.

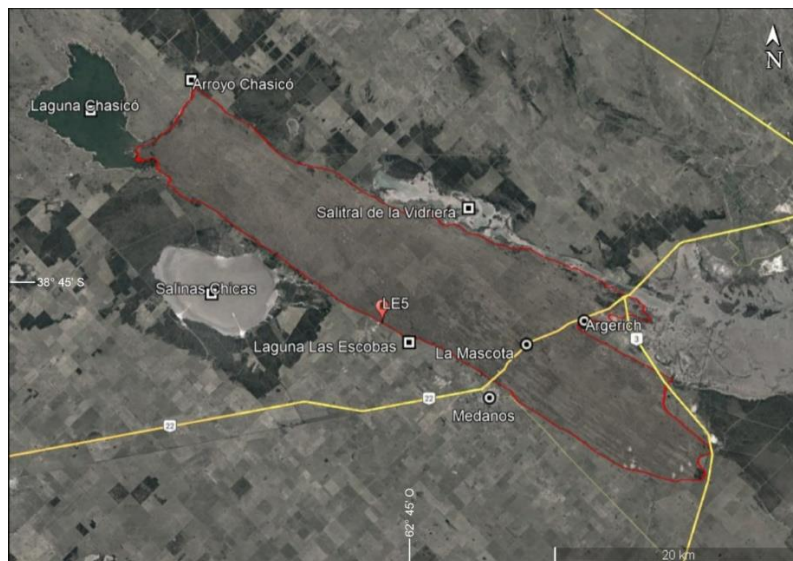


Figura 6.2.3.1. Ubicación del pozo LE5, donde fueron registradas las variaciones del nivel freático.

Mediante en análisis del gráfico de niveles promedio mensuales (Figura 6.2.3.2) se estudió el comportamiento de la serie de datos en la zona. Se observa una tendencia general decreciente del mismo a lo largo del tiempo de medición, desde 26,12 m.s.n.m en abril del 2021 hasta los 25,66 m.s.n.m en abril de 2022, obteniéndose así una variación de -0,46 m en el período considerado.

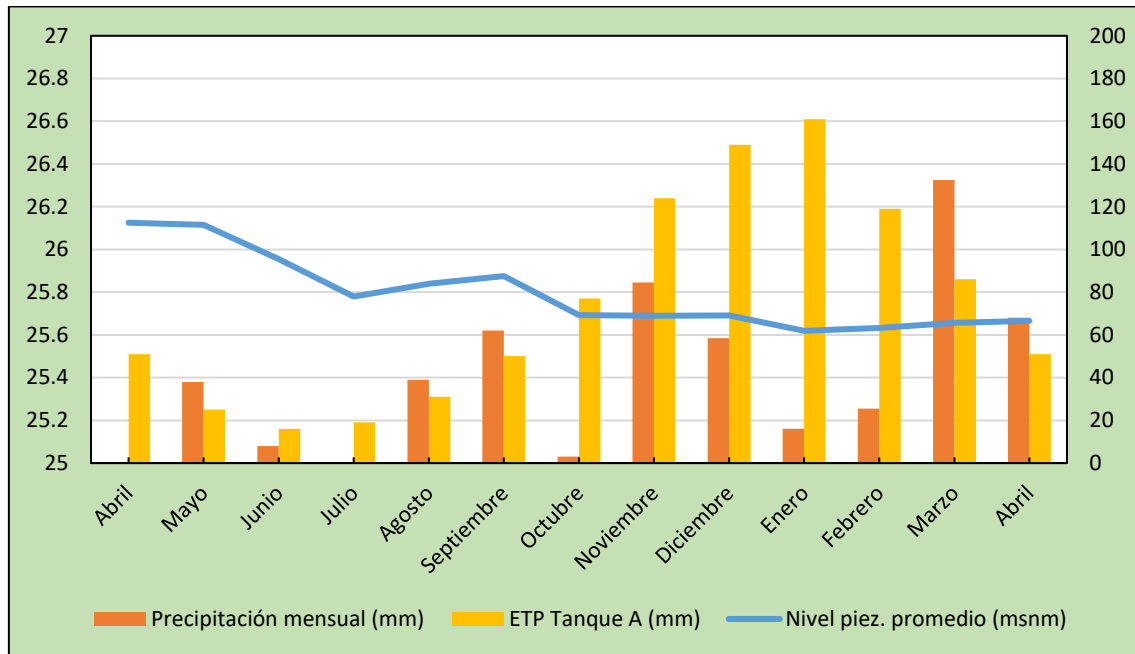


Figura 6.2.3.2. Variaciones mensuales del nivel freático.

Los niveles piezométricos más elevados se registran de abril a septiembre, donde la evapotranspiración es menor. Sin embargo, se reconoce una tendencia decreciente de esta primera parte del año, que puede atribuirse a la escasa pluviometría registrada.

A partir del mes de octubre se puede observar una estabilización del nivel en cotas bajas. En este caso las mayores lluvias que se registran en el año a partir de agosto podrían contrarrestar la alta evapotranspiración durante dicho período, provocando que el nivel piezométrico se mantenga con escasas variaciones. Si se considera el período octubre 2021 - abril 2022, la variación es de apenas -0,03 m.

Es destacable que la pluviometría registrada en marzo de 2022 (132,5 mm) no genera prácticamente respuesta alguna en el nivel, al menos hasta la finalización del lapso registrado. Bonorino (1979) dedujo la existencia de un retardo en la respuesta del nivel freático frente a la precipitación en mediciones entre 1965 y 1972. Esto parece corroborarse en los datos obtenidos, no habiendo un ascenso marcado del mismo producto de la abundancia de lluvias hacia la parte final del año y principio del siguiente. Cabe destacar que este fenómeno podría ser atribuible a una recomposición de la humedad del ambiente luego del verano.

Observando un gráfico de variaciones diarias del nivel (Figura 6.2.3.3), el valor máximo de este es de 26,23 m.s.n.m, alcanzado el 10/5/2021, mientras que el mínimo es de 25,43 m.s.n.m, medido el 7/7/2021, obteniendo de esta manera una oscilación máxima de 0,80 m. Los eventos de precipitación no muestran una clara correlación con ascensos puntuales del nivel, sino más bien la amortiguación general antes mencionada. Una posible causa de esta falta clara de respuesta a las lluvias podría estar en la redistribución del agua de la precipitación a otros términos del sistema, tales como la reposición de humedad del suelo ya me mencionada o evapotranspiración, de tal manera que no siempre se produciría la recarga en el acuífero ante el evento en particular.

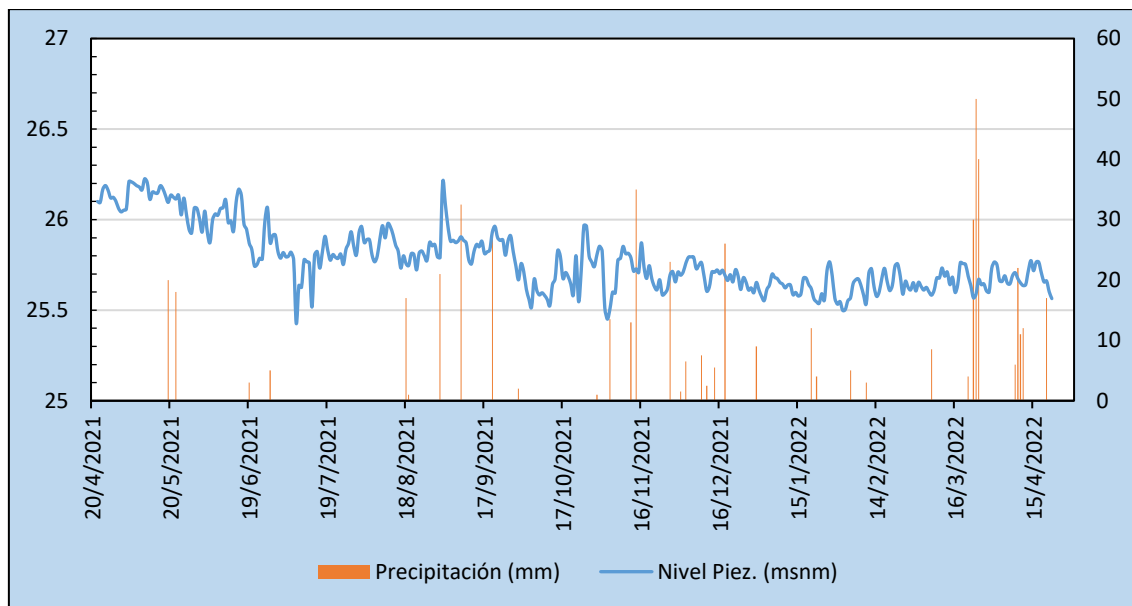


Figura 6.2.3.3. Variaciones diarias del nivel freático.

De igual manera, tampoco se reconoce en el gráfico una estacionalidad clara en los niveles. Esto último si fue descripto por Bonorino *et al.* (1989b), que registraron entre enero de 1988 y marzo de 1989 en el área de la Laguna Chasicó, elevaciones máximas del nivel piezométrico en los meses de septiembre y octubre, mientras que los de mínima cota tuvieron lugar en enero y febrero. De esta manera, determinaron una oscilación para el período de 0,70 m y variaciones estacionales coincidentes con los meses de máxima pluviometría (posiciones elevadas) y máxima evapotranspiración (posiciones deprimidas).

CAPÍTULO 7: HIDROGEOQUÍMICA

7.1 CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA

En base a los resultados obtenidos a partir de los 25 análisis químicos realizados (9 de agua de lluvia y 16 de agua subterránea) y datos antecedentes, fue posible caracterizar hidroquímicamente el sistema acuífero en el área de estudio y el agua de lluvia que lo recarga. Las planillas con las determinaciones completas de laboratorio y resultados se muestran en el Anexo II.

Se debe tener en cuenta que las características químicas del agua del acuífero dependerán de la composición del agua de lluvia como término inicial del sistema y de la interacción que esta tenga con el suelo, sedimentos de la zona no saturada y saturada y tiempo de contacto, dando lugar a diversas reacciones y transformaciones, como enriquecimiento de sales por evapotranspiración, precipitación o solubilización de diferentes minerales e intercambio catiónico, por citar los más comunes.

En zonas áridas y semiáridas, los aportes de sales generadas por evaporación en la zona no saturada suelen llegar a tener un rol importante en la impronta química del agua subterránea, siendo disueltas por esta, ya sea cuando el agua de lluvia infiltra en el suelo y recarga el acuífero, o cuando las variaciones del nivel freático ponen en contacto al agua subterránea con dichas sales. En el caso específico del área de estudio, la cercanía de salinas y salitrales (Figura 7.1.1) genera sectores con características químicas particulares.

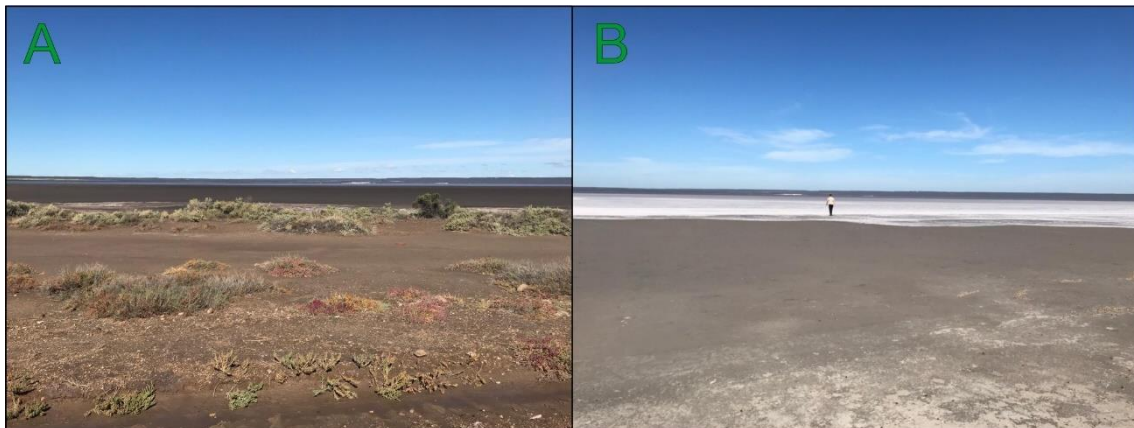


Figura 7.1.1. Salitral de la Vidriera (A) y Salinas Chicas (B).

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, se estudiará y caracterizará en primer lugar el agua de lluvia de la zona de estudio, para posteriormente realizar el mismo procedimiento con el agua subterránea.

7.1.1 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL AGUA DE LLUVIA

La composición del agua de lluvia que recarga el acuífero constituye el punto de partida para la elaboración de un modelo hidrogeoquímico que permita comprender el funcionamiento del sistema. En diversas situaciones los iones disueltos en el agua subterránea provienen, casi exclusivamente, del agua de lluvia (Bonorino, 1994). Los constituyentes de la misma dependerán de la fuente de vapor de agua que la origina y los iones que son adquiridos (o perdidos) en su recorrido a través de la atmósfera (Appelo y Postma, 2004).

A su vez, la composición del polvo atmosférico es un factor de importancia, ya que está íntimamente relacionado con la del agua de lluvia. La impronta química de ésta es adquirida durante su precipitación por el arrastre de polvos atmosféricos y deposición seca, y constituye la composición inicial en el ciclo de evolución hidrogeoquímica (Martínez *et al.*, 2011). En muestras analizadas recolectadas en la zona de Bahía Blanca, a unos 30 km al NE del área de estudio, Bonorino (1994) determinó los constituyentes del mismo mediante difracción de rayos X, separándolo del agua de lluvia mediante filtrado simple. Su composición corresponde a cuarzo, sílice amorfa, calcita, feldespatos y minerales arcillosos escasamente cristalizados. Estos mismos minerales son los que componen el loess pampeano, unidad ampliamente distribuida en la región.

En la Tabla 7.1.1.1 se muestran las concentraciones de iones mayoritarios en 9 muestras de lluvia del área de estudio recolectadas en la localidad de Médanos, así como otras de zonas cercanas (69 en Bahía Blanca y 6 en la Laguna Chasicó). Se puede observar que en los aniones predomina el bicarbonato, con su concentración prácticamente duplicando a la del cloruro. Por el lado de los cationes, predomina claramente el calcio, seguido por el sodio. El potasio y el magnesio no presentan concentraciones relevantes.

Tabla 7.1.1.1. Concentración de iones mayoritarios del agua de lluvia el área de estudio y zonas cercanas.

	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Bahía Blanca (Bonorino, 1994)							
Mínimo (mEq/L)	0,023	0,052	0,107	0,009	0,005	0,010	0,018
Máximo (mEq/L)	1,016	0,854	0,897	0,848	0,210	0,929	0,465
Promedio (mEq/L)	0,164	0,163	0,339	0,153	0,038	0,185	0,159
Laguna Chasicó (Bonorino, 1994)							
Mínimo (mEq/L)	0,138	0,115	0,261	0,126	0,008	0,105	0,156
Máximo (mEq/L)	1,325	0,404	1,389	1,953	0,125	1,198	0,403
Promedio (mEq/L)	0,676	0,254	0,724	0,974	0,053	0,398	0,296
Médanos							
Mínimo (mEq/L)	0,031	0,008	0,027	0,006	0,001	0,023	0,006
Máximo (mEq/L)	0,132	0,075	0,322	0,089	0,018	0,339	0,027
Promedio (mEq/L)	0,089	0,028	0,158	0,034	0,007	0,154	0,015

Si se comparan los valores de los análisis con los obtenidos por Bonorino (1994) en el área de la Laguna Chasicó con muestras recogidas en estaciones cercanas (Tornquist, Bahía Blanca, La Masallé, entre otras), éstas son las únicas en las que el sodio predomina sobre los iones restantes, posiblemente debido tanto a las características morfológicas y la fuerte evapotranspiración en el cuerpo de agua como a la cercanía de salinas y salitrales. El valor de sulfatos es también comparativamente alto, lo cual podría deberse a la presencia de suelos con yeso en el Salitral de la Vidriera, Salinas Chicas y la Fm. Chasicó, conjuntamente con el predominio de los vientos provenientes del O y NO en la región.

Es destacable la diferencia composicional que se puede observar en un diagrama de Piper entre las muestras de la zona de Laguna Chasicó y las de la localidad de Médanos (Figura 7.1.1.1), menos mineralizadas, pese a la cercanía entre ambos lugares. Si bien su composición aniónica es similar, dentro del grupo de los cationes se puede apreciar un claro contraste entre los dos grupos.

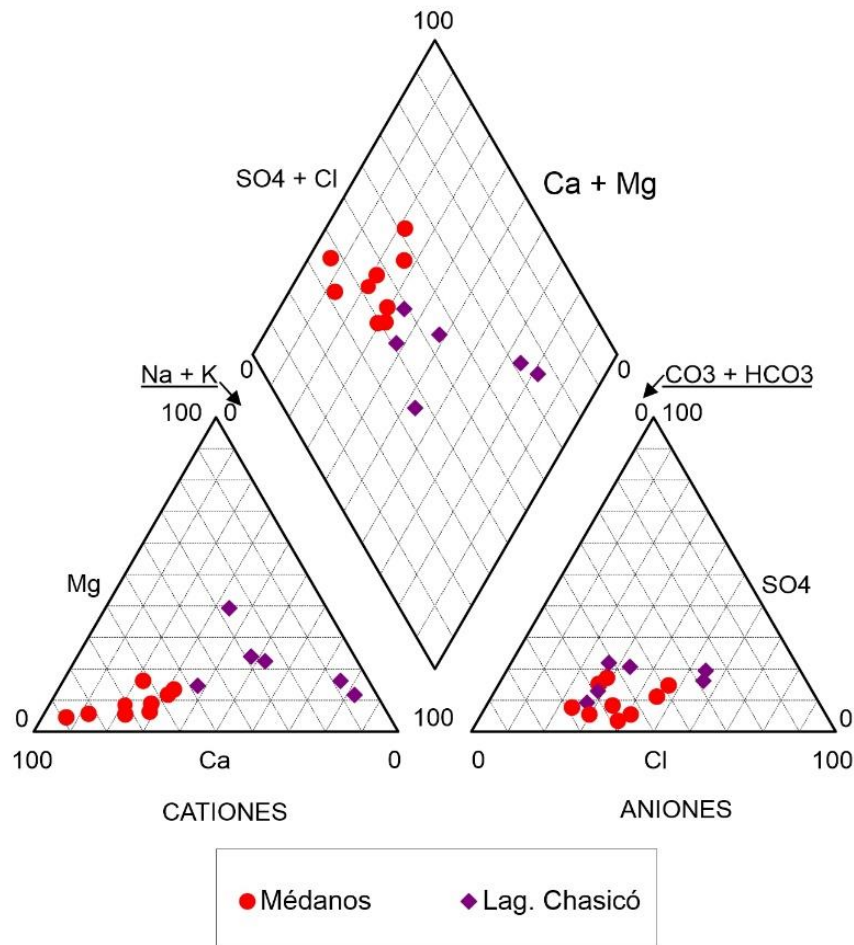


Figura 7.1.1.1. Diagrama de Piper de las muestras de lluvia de Médanos y Laguna Chasicó. Los valores se expresan en % de miliequivalentes.

A continuación, se analizaron las relaciones entre cationes y aniones (índices geoquímicos) de las muestras (Tabla 7.1.1.2), calculados con los promedios de la concentración iónica de la lluvia de cada localidad. Según Bonorino (1994), la alta correlación Na vs. Cl señala un posible origen común (aerosol marino y lacustre). Este valor es mayor en el caso de las muestras de la zona de la laguna Chasicó debido probablemente al efecto de la evaporación directa del cuerpo de agua, que presenta una relación iónica similar, según este mismo autor. La relación Mg/Ca presenta valores bajos, causado por la alta concentración de Ca proveniente del polvo atmosférico anteriormente mencionado (calcita, feldespatos, etc.). La relación Cl/K es alta a raíz del contenido de cloruro presente en la lluvia y al hecho de que el K tiende a ser fijado irreversiblemente en el suelo.

Tabla 7.1.1.2. Índices geoquímicos del agua de lluvia.

	rNa/rCl	rMg/rCa	rCl/rK	rSO ₄ /rCl	rCl/rHCO ₃
Laguna Chasicó (Bonorino, 1994)	1,44	0,74	12,75	0,37	0,93
Médanos	0,38	0,10	13,53	0,31	0,56

Por otro lado, la relación SO₄/Cl exhibe valores altos para tratarse de agua continental (típicamente entre 0,2 y 0,4), debido probablemente al aporte de sulfato a partir del yeso presente en los suelos del Salitral de la Vidriera, Salinas Chicas y Formación Chasicó. Por último, la relación Cl/HCO₃ arroja valores bajos (típicamente oscila entre 0,1 y 5 para agua continental), fuertemente influenciada por el aporte de carbonato del polvo atmosférico.

Estos índices dejan de manifiesto, en primer lugar, la influencia del polvo atmosférico en la química del agua de lluvia, como también el efecto que tienen las condiciones de evapotranspiración y geomorfología en la zona.

7.1.2 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL AGUA FREÁTICA

La ubicación de las muestras analizadas para caracterizar el agua subterránea del cordón medanoso se muestra en la Figura 7.1.2.1, mientras que en la Tabla 7.1.2.1 se exponen los valores mínimos, medio y máximos de las concentraciones de los iones analizados. La falta de densidad de puntos de muestreo en la zona central de la cadena de dunas se debe principalmente a la escasez de perforaciones en el sector y falta de acceso a las mismas.



Figura 7.1.2.1. Ubicación espacial de las muestras analizadas. En rojo se delimita el área de estudio.

Tabla 7.1.2.1. Concentración de iones mayoritarios del agua freática de las muestras analizadas en laboratorio. *: Datos de análisis químicos sumados a los obtenidos in-situ con sonda multiparamétrica. **: Valores considerando únicamente mediciones por encima del límite de detección de 1 mg/L.

Analito	Unidad	Mínimo	Máximo	Promedio	Desv. Est.
pH	U de pH	7,07	8,25	7,55	0,3
Conductividad Eléctrica*	µS/cm	385	9090	1890,8	1877,3
Total de sólidos disueltos*	mg/L	256	6080	1261,5	1253,9
Alcalinidad	Mg/L de CaCO ₃	200,5	750	386,7	147,2
Dureza	mg/L	24	616	276,3	171,1
Cl⁻	mg/L	35,9	1602	309,4	395,8
SO₄²⁻	mg/L	19	930	186	217,3
CO₃²⁻	mg/L	0	28,2	8	8,9
HCO₃⁻	mg/L	211	915	455,4	184,8
Na⁺	mg/L	33	1159	316,3	295,9
K⁺	mg/L	0,5	80,6	20,8	23
Ca²⁺	mg/L	4,1	134	49,8	34
Mg²⁺	mg/L	3,3	74,1	36,9	23
F⁻**	mg/L	1	9,9	2,5	2,72
As⁺	µg/L	10	216	48,8	47,9

Según la clasificación de iones mayoritarios (Custodio y Llamas, 1983), la composición aniónica de las aguas de la capa freática es predominantemente bicarbonatada (50% de las muestras) y clorurada (19% de las muestras), con las restantes representando una mezcla de estas dos anteriores, con excepción de una de ellas, ubicada en el extremo sureste de la cadena de médanos (muestra P19), que posee una componente sulfatada. El ploteo de las mismas en un diagrama de Piper se muestra en la Figura 7.1.2.2. Aquellas muestras cuyo componente mayoritario es el bicarbonato tienden a ubicarse, a grandes rasgos, en el centro de la cadena. Por otro lado, las que poseen como componente mayoritario a los cloruros, se ubican sobre los bordes del cordón de dunas, en la dirección del sentido del flujo. Dado que la recarga se produce

principalmente por infiltración del agua de lluvia a lo largo y ancho de todo el cordón medanoso, la disminución del ión HCO_3^- en el sentido del flujo subterráneo es atenuada, lo que resulta en su distribución areal.

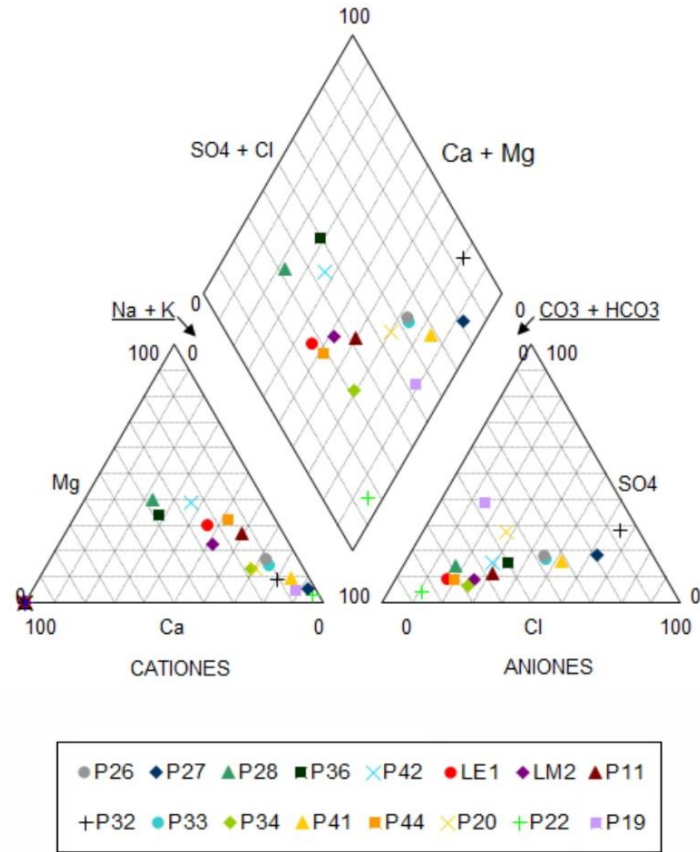


Figura 7.1.2.2. Diagrama de Piper de las muestras analizadas. Los valores se encuentran expresados en % de miliequivalentes.

En cuanto a la composición catiónica de las muestras, predomina la sódica (65% de las mismas), por sobre mezclas magnésicas, sódicas y cálcicas (45%). El predominio del ión sodio por sobre el resto es posiblemente producto de la fuerte evapotranspiración en la zona de estudio.

En los diagramas de Stiff (Figura 7.1.2.3) se puede apreciar como los polígonos tienden a ser más estrechos en las zonas de recarga y más abiertos en las de descarga, con incrementos sobre todo en los cloruros, bicarbonatos y sodio, que se hacen más evidentes en las proximidades del Salitral de la Vidriera.

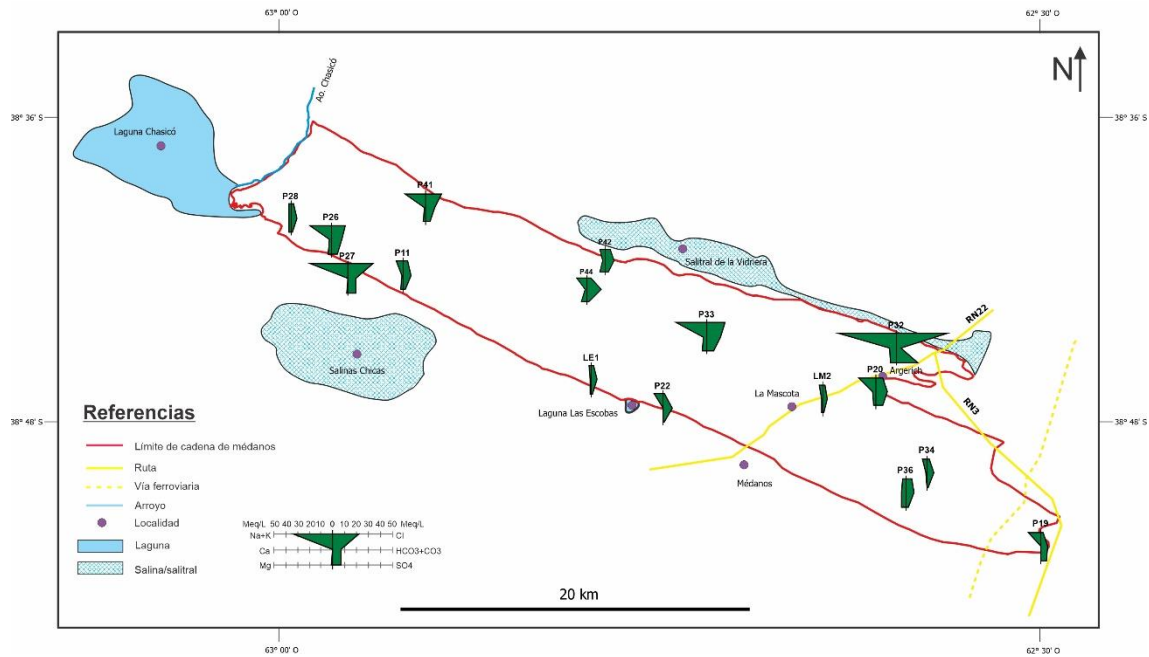


Figura 7.1.2.3. Mapa de diagramas de Stiff de las muestras analizadas.

En un diagrama de Schöeller-Berkaloff (Figura 7.1.2.4) se observa que, en general, la composición de las muestras recolectadas puede entenderse como una evolución química desde aguas de zona de recarga, que tienden a ubicarse en la parte inferior del grupo, a aguas de zona de descarga, que tienden a ubicarse en la parte superior, con un enriquecimiento en sales debido al transporte y tiempo de residencia en los sedimentos. El agua de lluvia puede considerarse como el miembro inicial del sistema. No se observa una marcada diferenciación de los términos medios entre estos dos extremos, posiblemente debido a la naturaleza del sedimento arenoso que conforma el acuífero (el cual es poco reactivo) y a la poca distancia de transporte que sufre el agua subterránea en términos relativos.

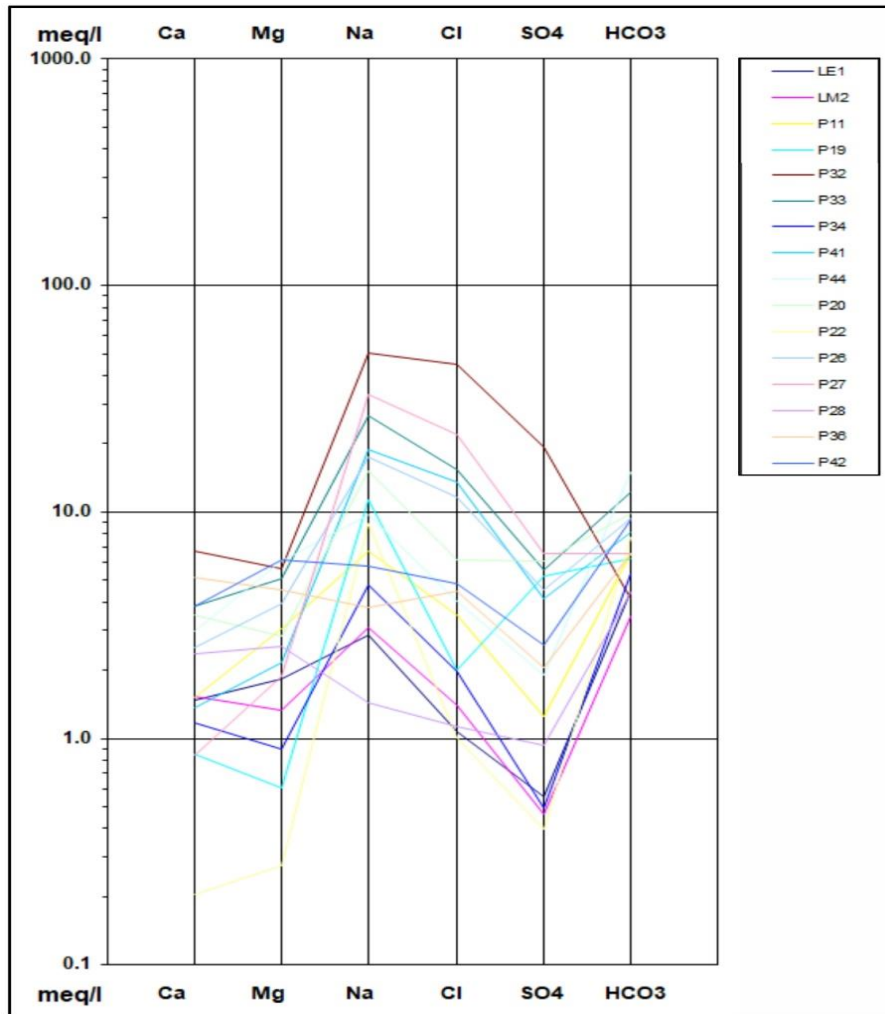


Figura 7.1.2.4. Diagrama de Schöeller-Berkaloff para las muestras de agua subterránea analizadas.

La fuerte mineralización en zonas de descarga, y particularmente en cercanías al Salitral de la Vidriera, estaría dada por las condiciones del sector, principalmente la presencia de costras de sales evaporíticas, que pueden ser depositadas o disueltas mediante ciclos sucesivos.

Se puede reconocer cómo aquellas con mayor tiempo de tránsito en el acuífero presentan, en general, un incremento marcado principalmente en cloruro y sodio (como se vio ya reflejado en los diagramas de Stiff), evidenciando el transporte ocurrido, y tienden a desplazarse hacia arriba del diagrama con respecto a aquellas que han sufrido un tiempo de contacto menor con los sedimentos.

Más allá de todo lo expuesto, la química del agua subterránea presenta una gran variabilidad en numerosos parámetros, los cuales se describen separadamente a continuación, conjuntamente con los mapas de isovariación correspondientes, utilizando, además, como apoyo, algunos datos de análisis antecedentes. Una versión de mayor resolución y detalle de los mismos se puede encontrar en el Anexo VI.

PH

El pH promedio, según los análisis químicos realizados, se ubica en 7,55, con máximos de 8,25 y mínimos de 7,07. Si se tienen en cuenta datos antecedentes, el valor máximo que se registra es de 9, en una antigua batería de pozos, fuera de uso, al norte de la localidad de Médanos. Es en los alrededores de este núcleo urbano en donde tienden a observarse los mayores valores, que en general superan las 8 unidades de pH.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Los valores de conductividad eléctrica medidos se ubican en promedio en los 1890 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con máximos de 9090 y mínimos de 385 $\mu\text{S}/\text{cm}$. De un total de 43 mediciones obtenidas durante el censo de puntos de agua, 8 presentan valores superiores a los 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (17% del total). De acuerdo al mapa elaborado (Figura 7.1.2.5), se puede observar una clara concordancia entre el sentido del flujo subterráneo y un aumento en la conductividad, producto del enriquecimiento en sales disueltas en el agua subterránea a lo largo de su recorrido. Se pueden reconocer valores que se ubican en torno a los 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en las partes SE y NO del cordón de dunas y las áreas centrales, mientras que en los sectores NE y SO se registraron valores más elevados, en torno a los 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, llegando incluso a extremos al norte de la localidad de Argerich, donde se midieron valores de más de 5440 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el máximo absoluto de la zona de estudio, de 9090 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (pozo P30).

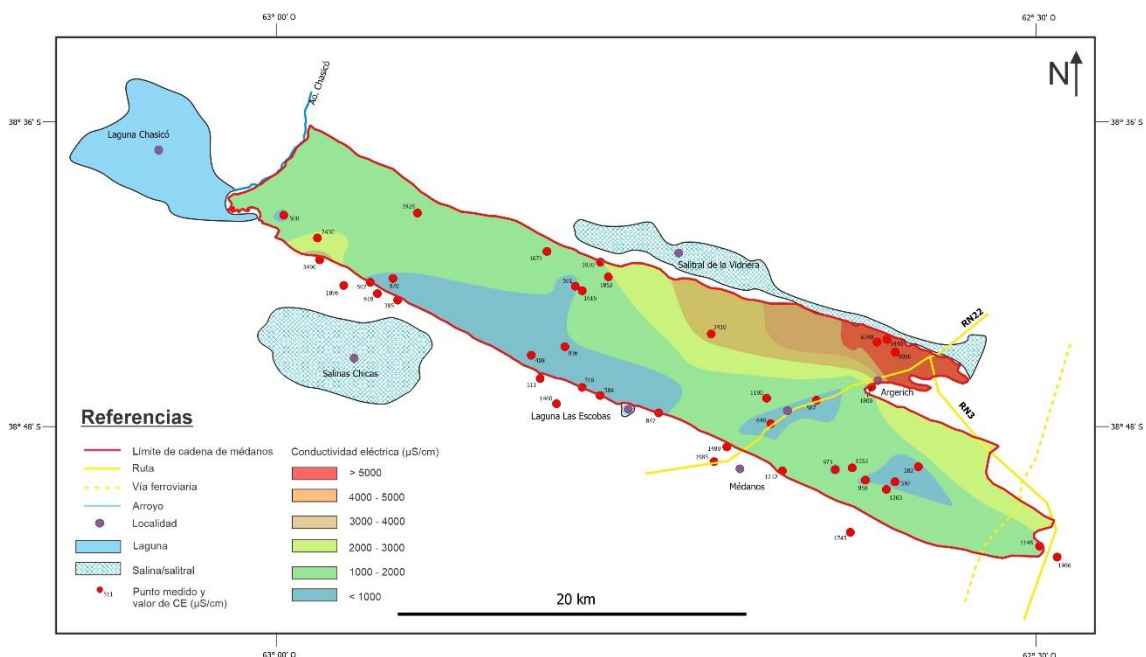


Figura 7.1.2.5. Mapa de isoconductividad eléctrica de la zona de estudio. Algunos de los puntos medidos no fueron representados debido a la proximidad entre ellos.

En resumen, la conductividad muestra un incremento general que, para la parte este del cordón medanoso, se da desde el SO hacia el NE, con los valores más altos ubicados en las proximidades del Salitral de la Vidriera, mientras que, para el sector oeste del cordón de dunas, el incremento en la conductividad se da en sentido contrario, sin llegar a valores tan elevados como en el caso anterior. Todo esto es concordante con la dirección del flujo subterráneo en el área de estudio. A su vez, las zonas centrales del cordón de dunas, por sus características, se podrían considerar zonas de recarga locales, con valores de conductividad que rondan entre los 600 y los 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

TOTALES DE SÓLIDOS DISUELTOS (TSD)

Los TSD están estrechamente vinculados con la conductividad eléctrica (Figura 7.1.2.6), con valores promedio de 1261 mg/L, máximos de 6080 y mínimos de 256 mg/L. Al igual que la conductividad, muestran un incremento en el sentido del flujo subterráneo y la misma distribución general.

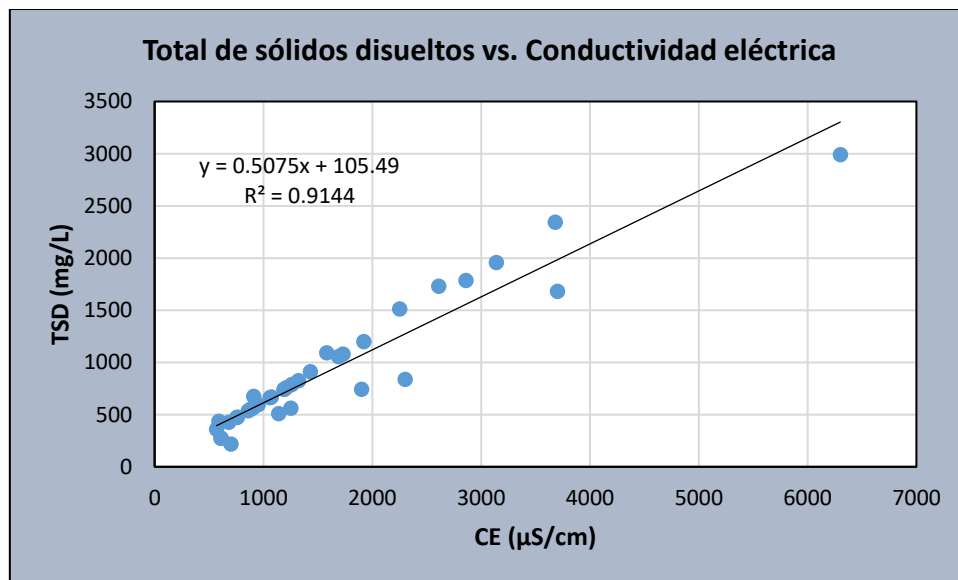


Figura 7.1.2.6. Comparativa entre TSD y CE en el agua subterránea del área de estudio.

ALCALINIDAD

La alcalinidad presenta un promedio de 386,7 mg/L de CaCO_3 , con un mínimo de 200,5 y un máximo de 750 mg/L. Sus valores más altos se registran en el centro de la cadena de dunas y están estrechamente relacionados con la presencia de bicarbonatos disueltos en el agua (Figura 7.1.2.7), con un coeficiente de correlación de 0,99.

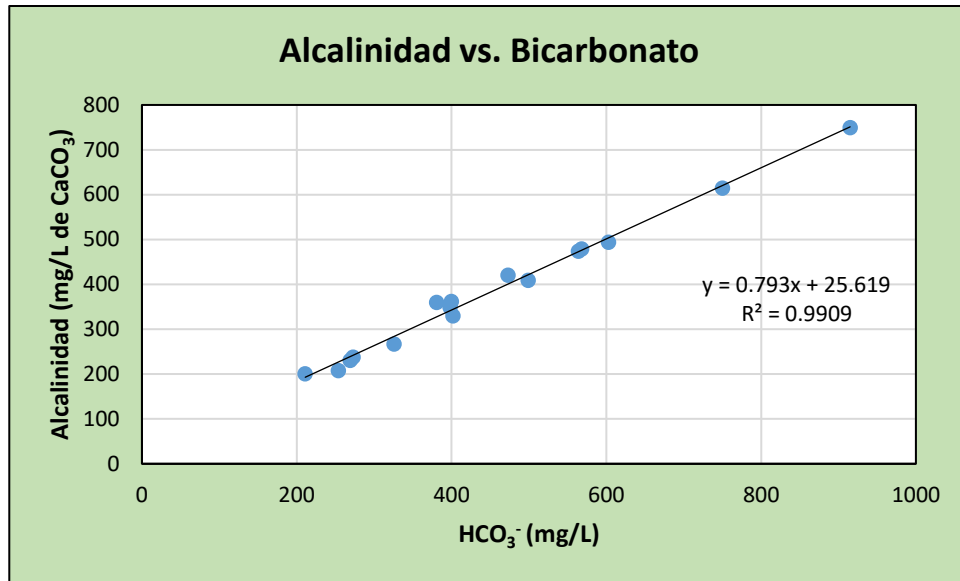


Figura 7.1.2.7. Comparativa entre valores de alcalinidad y contenido de bicarbonato en las muestras del área de estudio.

Como es de esperarse, su distribución en la zona es coincidente con la de estos, ya que prácticamente no se midió carbonato en las muestras analizadas, producto del rango de pH en el que se suelen encontrar las aguas subterráneas, en las que no existe en la mayoría de los casos CO_3^{2-} disuelto en cantidades apreciables.

DUREZA

La dureza del agua es la suma de las concentraciones de Ca y Mg disueltos en ella, generalmente expresada como una concentración equivalente de miligramos de CaCO_3 . Los valores en las muestras del área de estudio presentan un promedio de 276,3 mg/L, con máximos de 616 y mínimos de 24 mg/L, con aquellos más altos ubicándose en las cercanías del Salitral de la Vidriera. De acuerdo a su clasificación según este parámetro (Custodio y Llamas, 1983), las aguas de la zona son en su mayoría muy duras y duras (Tabla 7.1.2.2), sumando el 87,5% de las muestras entre estas dos categorías.

Tabla 7.1.2.2. Clasificación de la dureza de las muestras analizadas.

Dureza (mg de CaCO_3)	Clasificación	Porcentaje del total de las muestras
< 50	Blanda	6,25 %
50-100	Algo dura	6,25 %
100-200	Dura	31,25 %
> 200	Muy dura	56,25 %

CLORUROS

La concentración promedio de cloruro es de 309,4 mg/L, con máximos medidos de 1602 (pozo P32) y mínimos de 35,9 mg/L (pozo P22). Se reconoce un aumento de los mismos en el sentido del flujo (Figura 7.1.2.8).

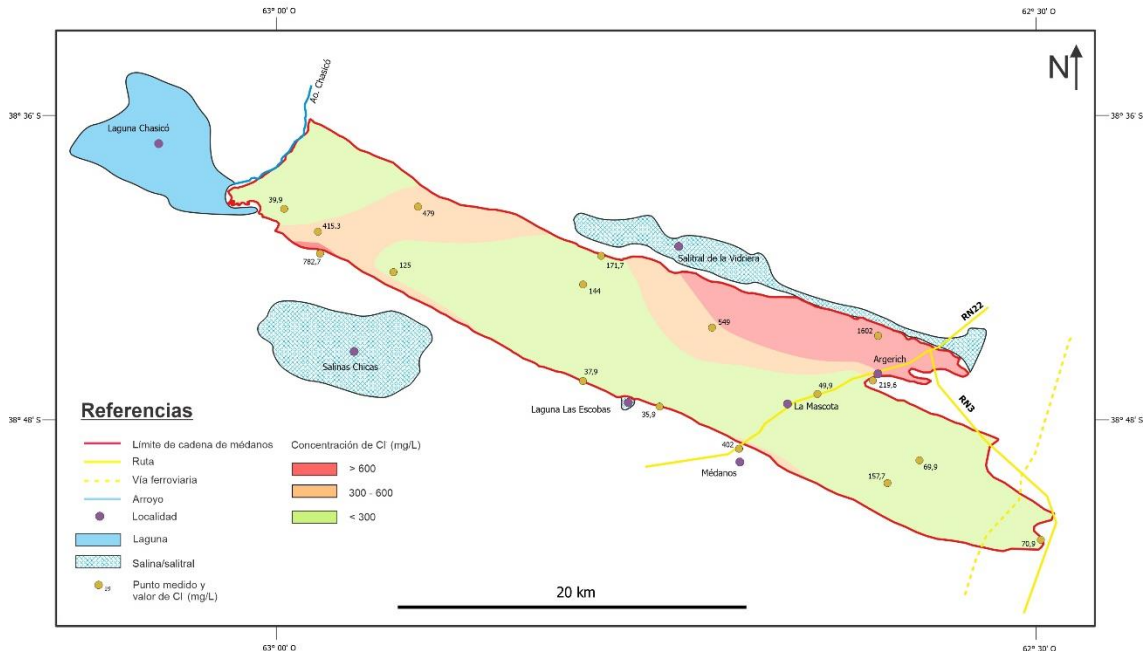


Figura 7.1.2.8. Mapa de isocontenido de cloruro de la zona de estudio.

En la mayor parte del área de estudio se observan valores menores a los 300 mg/L. Por otra parte, aquellos más altos se ubican en las cercanías del Salitral de la Vidriera (mayores a 600 mg/L), donde además del aumento debido al tránsito del agua subterránea, el cloruro podría ser también aportado por la disolución de sales y costras evaporíticas. Los menores tenores de este ión, conjuntamente con las mediciones de baja conductividad eléctrica, pueden ser asociadas a zonas de recarga preferencial. Como es de esperar, se reconoce una gran concordancia entre los contenidos de este y la conductividad eléctrica medida en las muestras. (Figura 7.1.2.9).

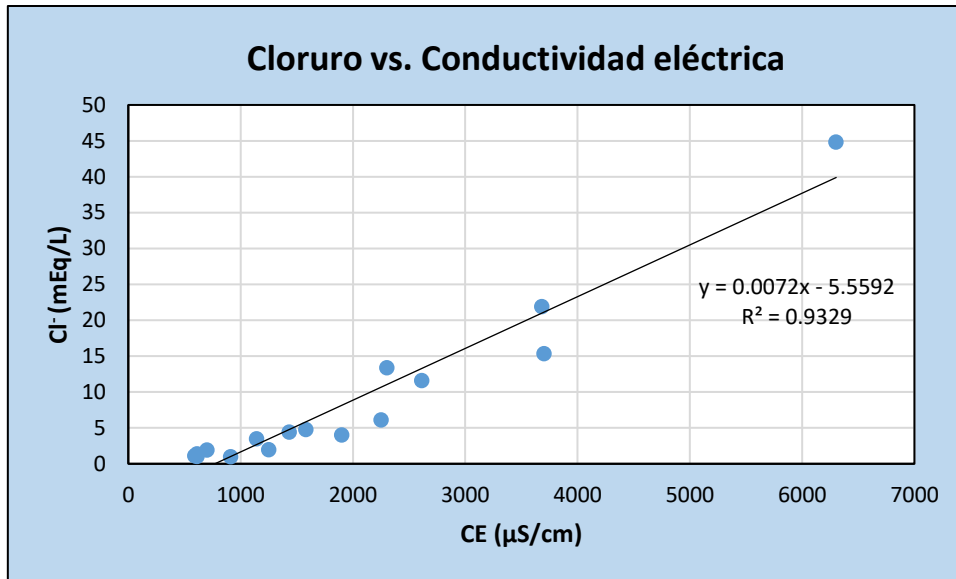


Figura 7.1.2.9. Relación entre el contenido de cloruro y la conductividad eléctrica de las muestras.

SULFATOS

Los tenores medidos de este ión presentan un valor promedio de 186 mg/L, con un máximo de 930 y un mínimo de 19 mg/L. En la mayor parte del área de estudio se registran valores por debajo de los 200 mg/L (Figura 7.1.2.10). Como en los casos anteriores, las menores concentraciones se ubican en zonas de recarga, aumentando en el sentido del flujo subterráneo. Los mayores valores se ubican en las proximidades del Salitral de la Vidriera, probablemente ligados además a la presencia y disolución de yeso y evaporitas. A su vez, la muestra P19 presenta una concentración elevada teniendo en cuenta su ubicación dentro de la cadena de médanos (250 mg/L).

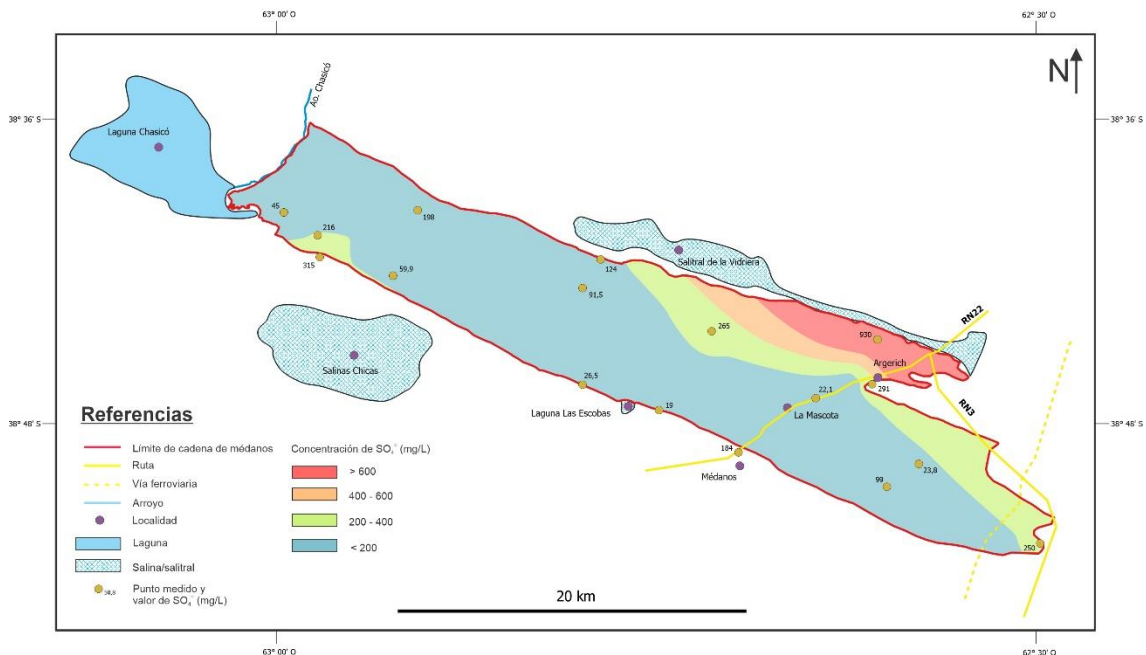


Figura 7.1.2.10. Mapa de isocontenido de sulfato de la zona de estudio.

Los valores de sulfato muestran una buena correlación con el cloruro (Figura 7.1.2.11), con un índice R^2 de 0,88, denotando posiblemente un origen común para ambos iones.

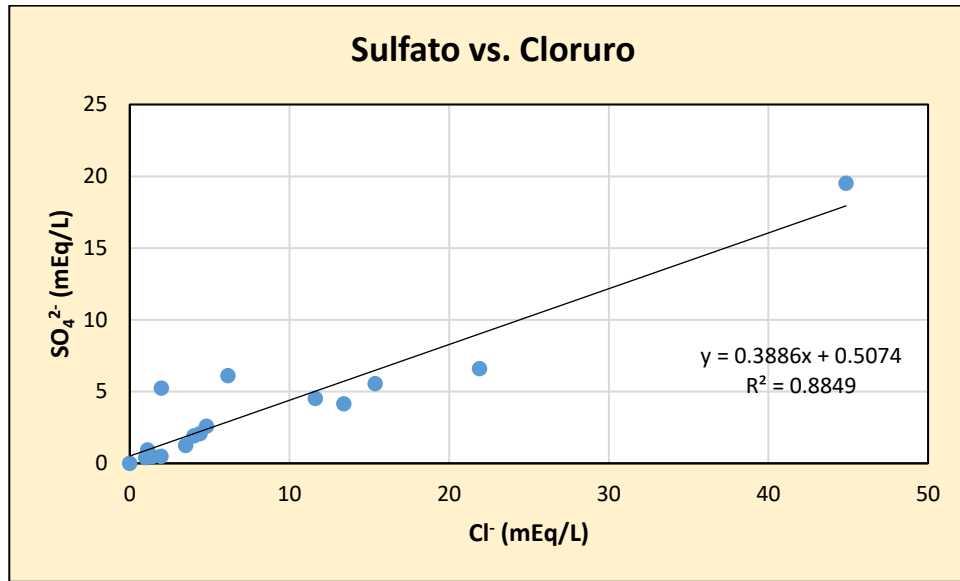


Figura 7.1.2.11. Relación entre el contenido de sulfato y de cloruro de las muestras.

Para constatar la disolución de yeso antes mencionada, se puede utilizar el índice Ky (Custodio y Llamas, 1983), donde:

$$Ky = \sqrt{rSO_4 * rCa}$$

Al realizar el cálculo para las muestras analizadas (Tabla 7.1.2.3) se observa que los tres valores más elevados obtenidos corresponden a las cercanías de la zona de descarga en el Salitral de la Vidriera, siendo el de la muestra P32 el mayor de todos. De esta manera, podría inferirse que el elevado contenido de sulfato en estas muestras provendría en parte de la disolución de yeso y evaporitas presentes en los sedimentos de este sector.

Tabla 7.1.2.3. Índice Ky de las muestras analizadas. Se resaltan los 3 valores más altos obtenidos.

Muestra	Ky	Muestra	Ky
LE1	0.906	P44	2.393
LM2	0.843	P20	4.621
P11	1.383	P22	0.286
P19	2.112	P26	3.381
P32	11.439	P27	2.364
P33	4.620	P28	1.490
P34	0.768	P36	3.272
P41	2.378	P42	3.164

CARBONATOS Y BICARBONATOS

Debido al pH de las aguas subterráneas de la zona de estudio (menor a 8,3), no se encuentra CO_3^{2-} disuelto en las mismas en concentraciones importantes, si bien en valores cercanos a 8,4 puede encontrarse cierta cantidad en equilibrio (Appelo y Postma, 2004), por lo que la especie disuelta presente es prácticamente HCO_3^- en su totalidad (Figura 7.1.2.12). El promedio de la concentración de bicarbonato en las muestras analizadas es de 455,4 mg/L, con un máximo de 915 y un mínimo de 211 mg/L. De esta manera, es, en promedio, el anión disuelto más abundante en el agua subterránea de la zona de estudio.

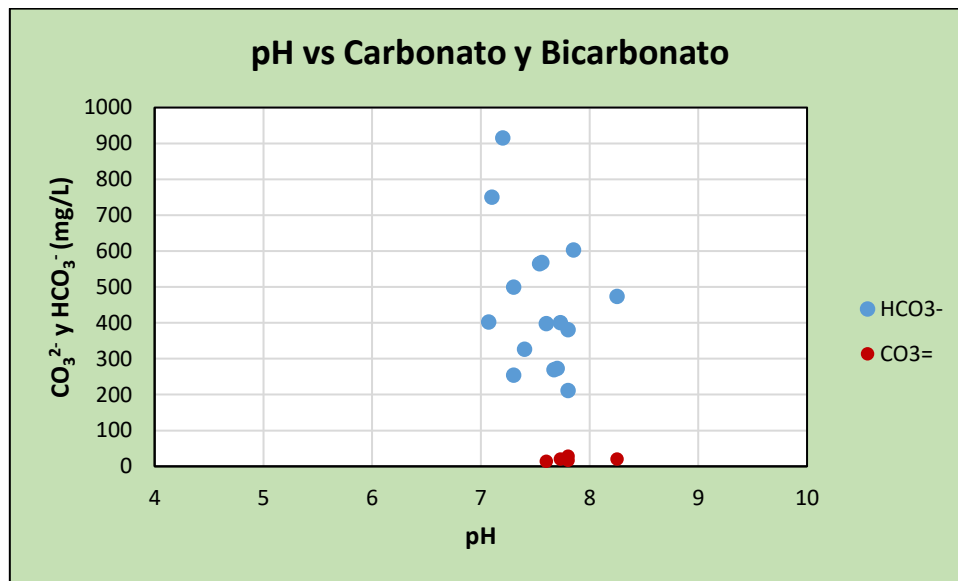


Figura 7.1.2.12. Relación entre el contenido de carbonatos y bicarbonato de las muestras en relación a su pH.

Su distribución en la cadena de médanos (Figura 7.1.2.13) tiende a ser mayor en el centro de la misma y en áreas cercanas a la localidad de Médanos, disminuyendo hacia los bordes, si bien, en términos generales, puede considerarse relativamente homogénea.

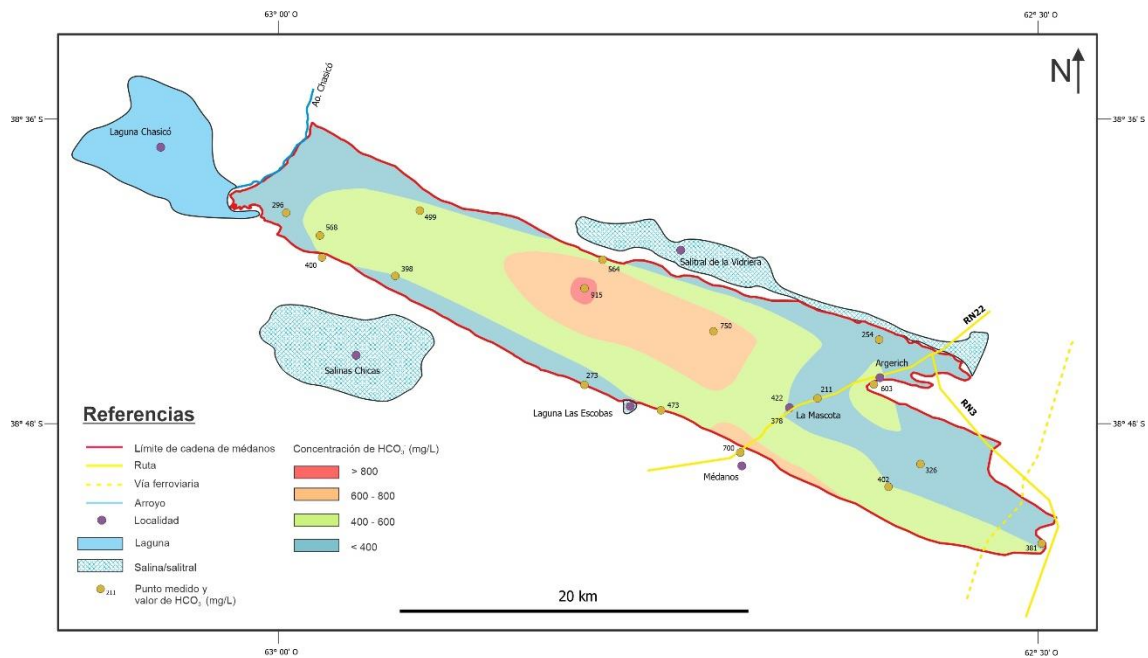
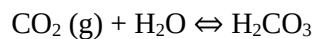
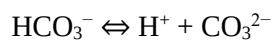
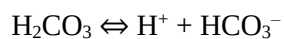


Figura 7.1.2.13. Mapa de isocontenido de bicarbonato de la zona de estudio.

Esto podría deberse a que parte del bicarbonato proviene de las reacciones de disolución e hidrólisis por infiltración de agua de lluvia (la cual se da a lo largo y ancho de toda la cadena de dunas) y su reacción con compuestos carbonatados y el CO₂ presente en la zona no saturada, que de forma simplificada se expresa como:



El CO₂ disuelto en el agua puede permanecer en estado gaseoso o como ácido carbónico (H₂CO₃). Al disociarse este último, se producen iones HCO₃⁻ y CO₃²⁻, siendo esta reacción dependiente del pH del medio, como se mencionó anteriormente.



Esto tiende a atenuar la variación en los tenores de bicarbonato a causa del flujo subterráneo, resultando en la distribución areal descrita anteriormente.

NITRATOS

Si bien no se cuenta con análisis propios de las concentraciones de nitrato en la cadena de dunas, se tomaron en cuenta datos antecedentes brindados por ABSA en los alrededores de la localidad de Médanos, a raíz de un estudio realizado por Lexow y Bonorino (2012). Sobre un total de 18 muestras analizadas, el contenido promedio medido fue de 87,87 mg/L, con un máximo de 497 y un mínimo de 1,46 mg/L. Su distribución (Figura 7.1.2.14) puede relacionarse a contaminación puntual producto de actividades antrópicas y ganaderas (bebederos de animales) y suele considerarse un buen indicador, también, de contaminación bacteriológica.

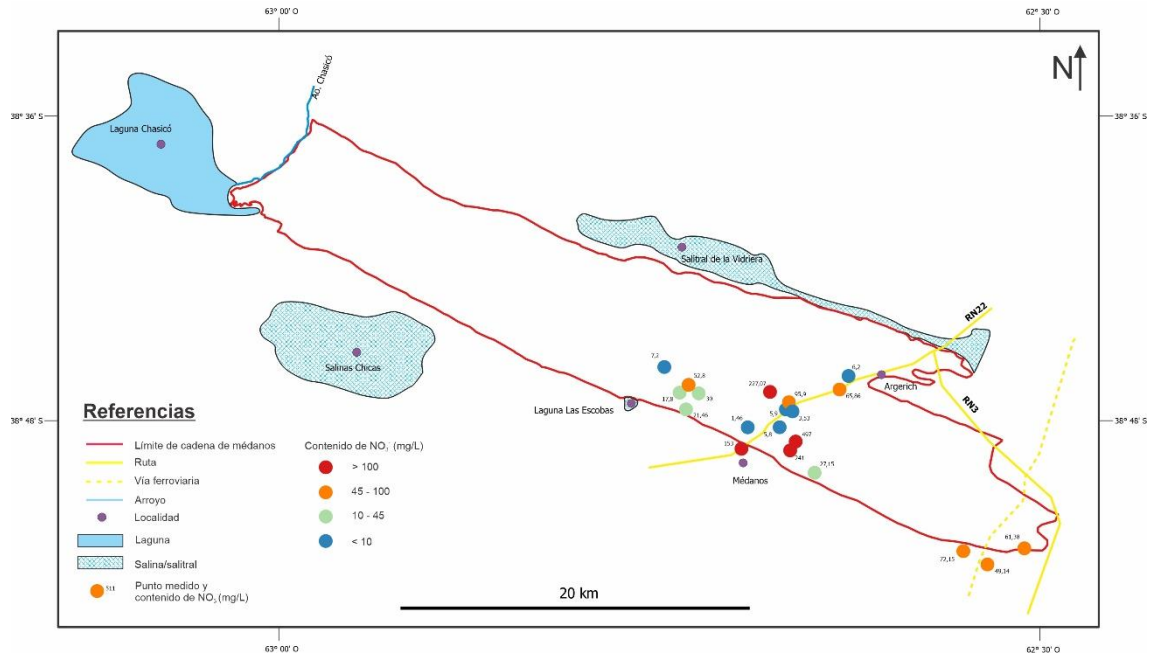


Figura 7.1.2.14. Mapa de contenido de nitrato de la zona de estudio, elaborado en base a datos de Lexow y Bonorino (2012).

SODIO

El sodio es el ión más abundante en las muestras dentro del grupo los cationes, con una concentración promedio de 316,3 mg/L, un máximo de 1159 y un mínimo de 33 mg/L. Su comportamiento es similar al del cloruro, con los menores tenores ubicados en las zonas de recarga preferencial y los mayores en las zonas de descarga (Figura 7.1.2.15).

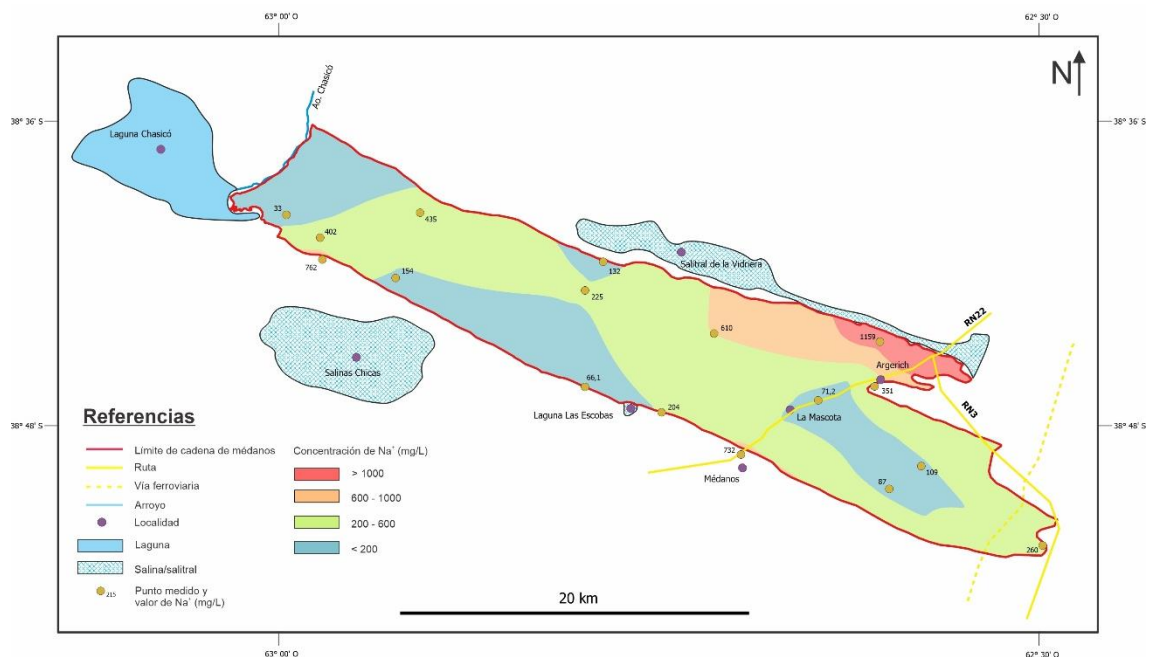


Figura 7.1.2.15. Mapa de isocontenido de sodio de la zona de estudio.

La relación entre los contenidos de sodio y cloruro (Figura 7.1.2.16) presenta una elevada concordancia, lo que permite inferir un origen común. Si se analizan las relaciones rNa/rCl y $rNa/r(Na+Cl)$ (Tabla 7.1.2.4), se pueden obtener algunos indicios de la fuente de sodio en el agua subterránea.

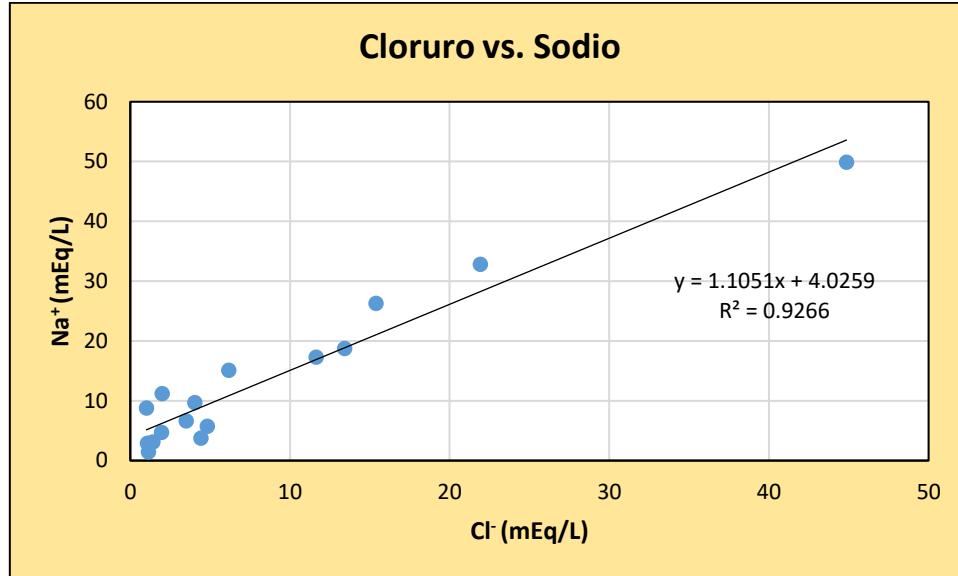


Figura 7.1.2.16. Relación entre el contenido de sodio y cloruro de las muestras analizadas.

Tabla 7.1.2.4. Índices geoquímicos de sodio de las muestras.

Muestra	rNa/rCl	$rNa/r(Na+Cl)$
LE1	2.678	0.728
LM2	2.191	0.687
P11	1.892	0.654
P19	5.632	0.849
P32	1.111	0.526
P33	1.706	0.630
P34	2.395	0.705
P41	1.395	0.582
P44	2.400	0.706
P20	2.455	0.711
P22	8.727	0.897
P26	1.487	0.598
P27	1.495	0.599
P28	1.270	0.559
P36	0.847	0.459
P42	1.181	0.541

En todas las muestras, excepto una (P36), la relación Na/Cl es mayor a 1, indicando un aporte de sodio desde otra fuente diferente de la halita al acuífero. Dicho aporte podría provenir del sodio contenido en las plagioclasas que conforman parte de los clastos de las arenas del cordón de dunas y por fenómenos de intercambio catiónico con la fracción arcillosa. Para

verificar esto último, se consideró la relación $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Cl})$, que en caso de tomar valores superiores a 0,5 sugiere la existencia de este fenómeno (Hounslow, 1995). Teniendo esto en cuenta, en todas las muestras donde la relación Na/Cl es mayor a 1, se sugiere la ocurrencia de intercambio catiónico como fuente de aporte de sodio.

CALCIO

El calcio presenta en las muestras analizadas un contenido promedio de 49,8 mg/L, con un valor máximo de 134 y un mínimo de 4,1 mg/L, mostrando un incremento en el sentido general del flujo (Figura 7.1.2.17).

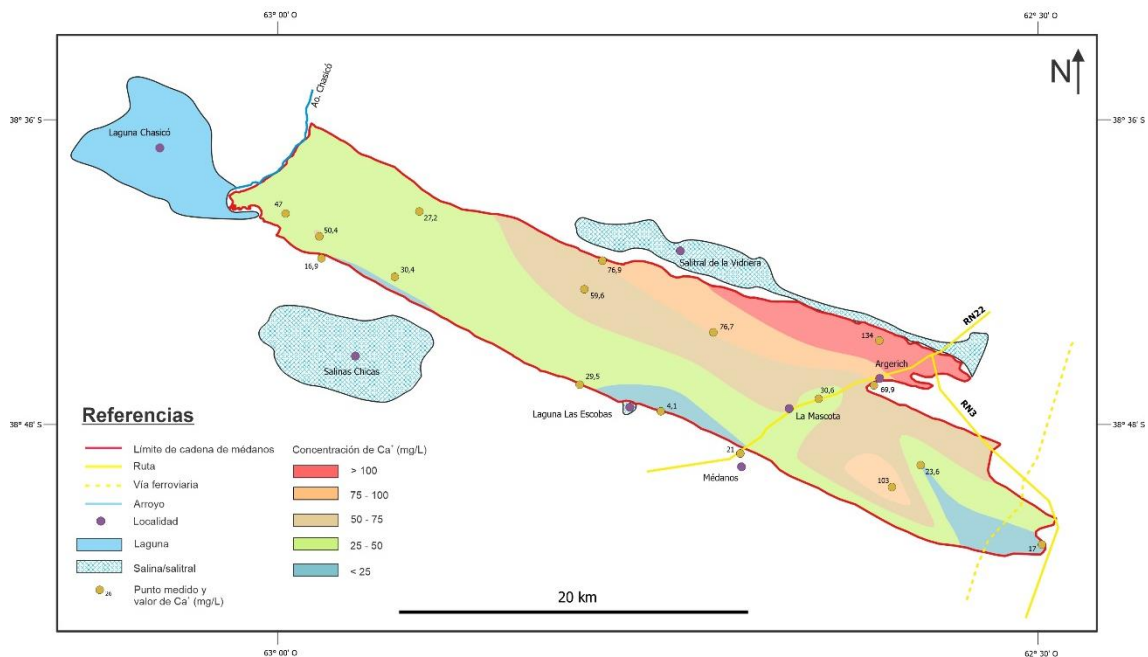


Figura 7.1.2.17. Mapa de isocontenido de calcio de la zona de estudio.

Los valores extremos se ubican, similarmente a otros iones, hacia el Salitral de la Vidriera. Esto podría ligarse a la disolución de yeso y evaporitas en dicho sector, ya que el calcio puede formar sales solubles que, debido a cambios de pH o de la presión parcial de CO_2 , pueden precipitar o disolverse. Sin embargo, el aporte de este ión no vendría dado únicamente por disolución, como muestra la baja relación entre las concentraciones de sulfato y calcio (Figura 7.1.2.18), por lo que probablemente tendrían lugar además fenómenos de intercambio catiónico o disolución de carbonatos.

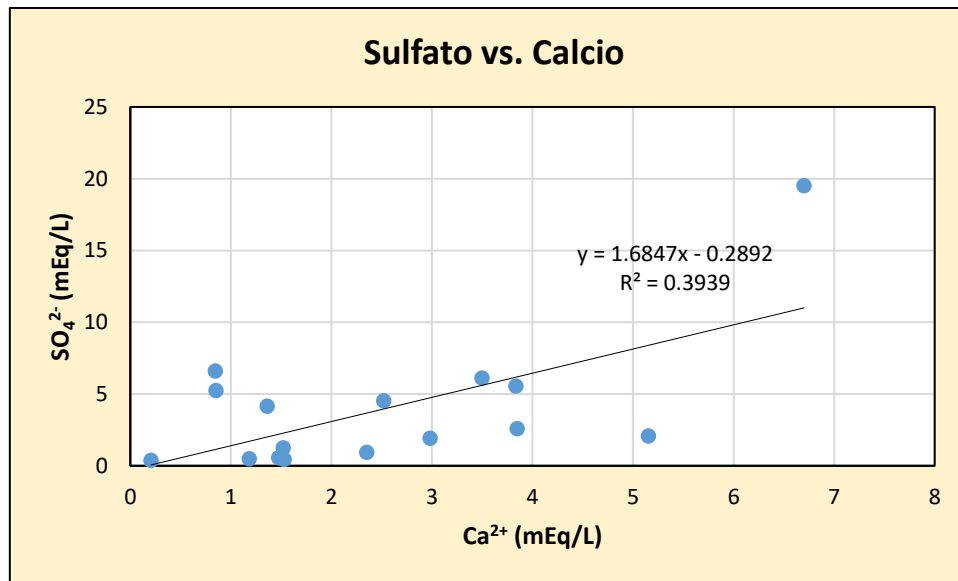


Figura 7.1.2.18. Relación entre el contenido de sulfato y calcio de las muestras analizadas.

POTASIO

El potasio muestra un comportamiento similar al del calcio, con un tenor promedio de 20,8 mg/L, un máximo de 80,6 y un mínimo de 0,5 mg/L, mostrando también un aumento de concentración en el sentido del flujo (Figura 7.1.2.19).

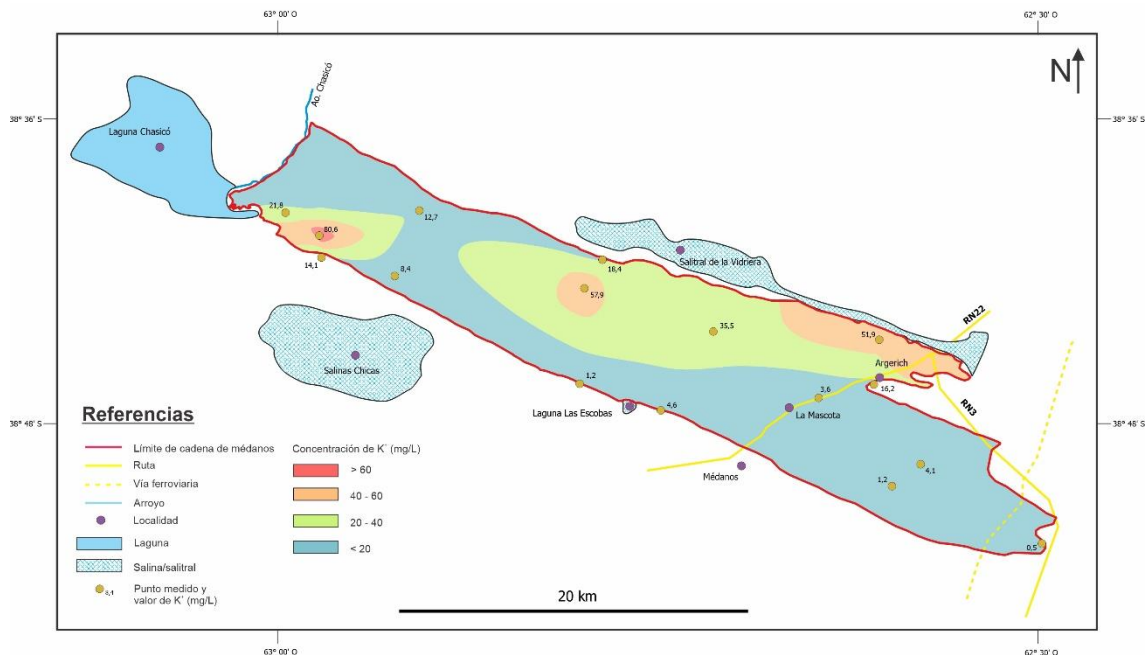


Figura 7.1.2.19. Mapa de isocontenido de potasio de la zona de estudio.

Este ión, normalmente afectado por procesos de intercambio catiónico, tiende a ser irreversiblemente fijado en el suelo por las arcillas, es por ello que su concentración en las aguas subterráneas suele ser baja y de poca importancia. Los feldespatos potásicos y las micas están presentes en las areniscas que componen el cordón de dunas, por lo que la meteorización de

estos minerales podría considerarse como la fuente del potasio en el agua del acuífero de la zona de estudio. La muestra P26 presenta un valor anormalmente alto (80,6 mg/L, el máximo registrado), cuyo origen podría ser correlacionable a la presencia y disolución localizada de un nivel evaporítico rico en sales de potasio en ese sector en particular.

MAGNESIO

El magnesio muestra una distribución y comportamiento similares a los del calcio y el potasio, y, a su vez, al igual que estos, suele ser afectado por procesos de intercambio catiónico. Se puede reconocer un incremento general del mismo en el sentido del flujo subterráneo (Figura 7.1.2.20). El promedio en el contenido del este catión es de 36,9 mg/L, con un máximo de 74,1 y un mínimo de 3,3 mg/L.

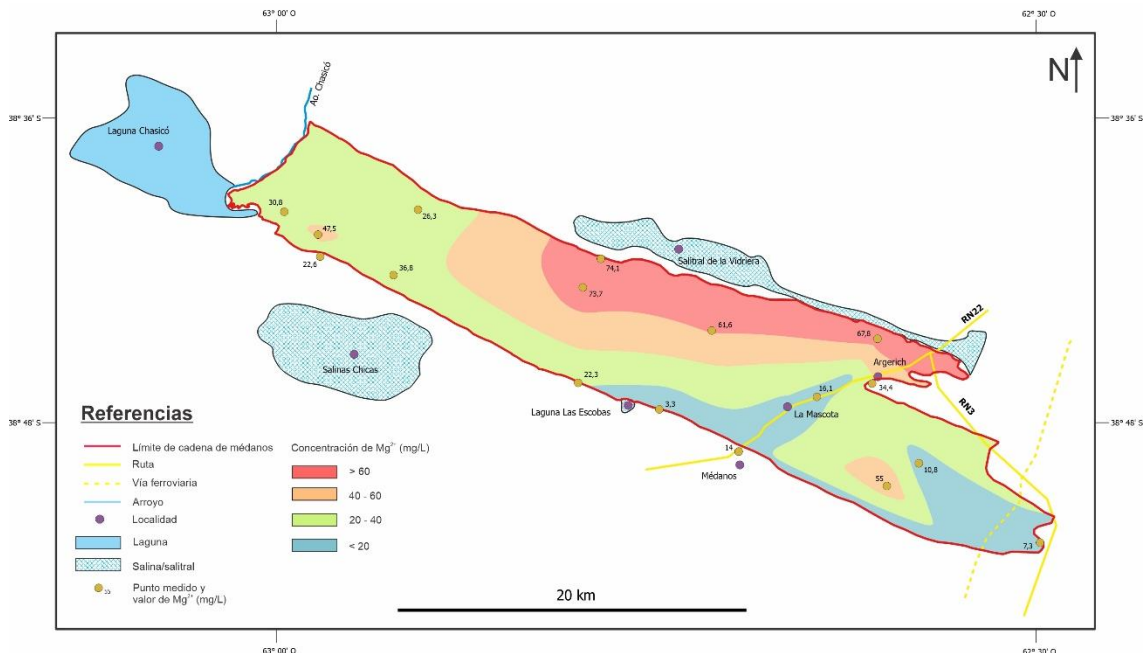


Figura 7.1.2.20. Mapa de isocontenido de magnesio de la zona de estudio.

Suele encontrarse asociado a rocas carbonáticas (siendo su principal fuente las calizas y dolomías), por lo que el pH juega un rol importante en su distribución. Como en varios de los casos anteriores, sus concentraciones máximas se encuentran en las cercanías del Salitral de la Vidriera, por lo tanto, su origen en el agua subterránea podría estar igualmente vinculado a este bajo topográfico.

FLUORURO

Las concentraciones de este oligoelemento y del arsénico, suelen ser una de las principales problemáticas en el agua subterránea del partido de Villarino y del área de estudio en particular, debido a la fuerte limitante que ejerce, según las normativas vigentes, sobre su potabilidad. La cantidad máxima permitida en el agua para consumo humano se establece en

función de la temperatura promedio (Anexo VII) y en el área de estudio se estable entre 0,8 y 1,3 mg/L.

En las muestras analizadas dentro de la cadena de médanos, el fluoruro presenta un valor promedio de 2,5 mg/L, con un máximo de 9,9 y un mínimo de 1 mg/L (considerando sólo las muestras con tenores por encima del límite de detección de 1 mg/L, con 4 de ellas cayendo por debajo del mismo). Si se tienen en cuenta además datos antecedentes brindados por ABSA (Lexow y Bonorino, 2012), los cuales fueron utilizados para realizar el mapa de su contenido a fin de contar con un mayor volumen de datos (Figura 7.1.2.21), se puede observar una gran variabilidad y aleatoriedad en su concentración y distribución.

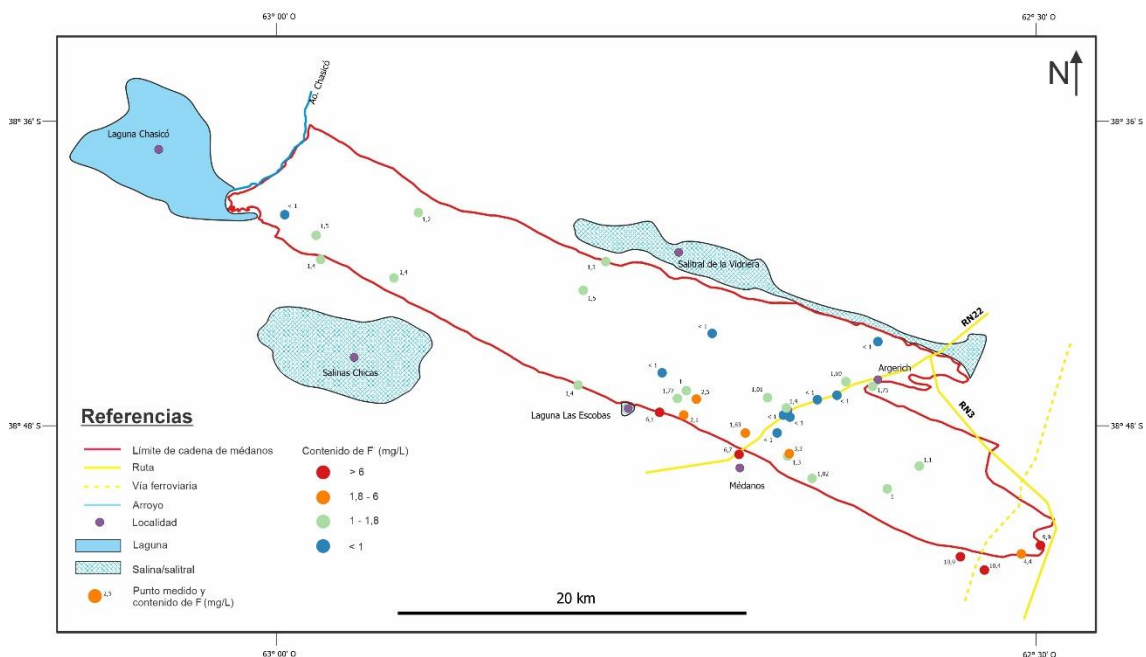


Figura 7.1.2.21. Mapa de contenido de fluoruro de la zona de estudio.

Los mayores tenores se localizan en la llanura circundante a la cadena de médanos, y particularmente en el sudeste del área de estudio. En general, los valores dentro de la cadena de dunas suelen ser bajos.

Estos tenores de fluoruro en el agua subterránea tendrían su origen en común con el arsénico, debido a la meteorización de material de origen volcánico rico en F presente en los sedimentos, así como también a la meteorización de minerales modernos de procedencia no volcánica. Bonorino *et al.* (2003), proponen que la combinación de factores geológicos e hidrodinámicos provocarían la irregular distribución de fluoruros en el sentido del flujo subterráneo. Limbozzi (2011) plantea el rol de otros componentes de la zona no saturada como fuente de aporte de este elemento al agua subterránea de la región pampeana. Esto podría explicar que no se haya encontrado una buena correlación entre el As y el F en las muestras analizadas en este estudio (Figura 7.1.2.22).

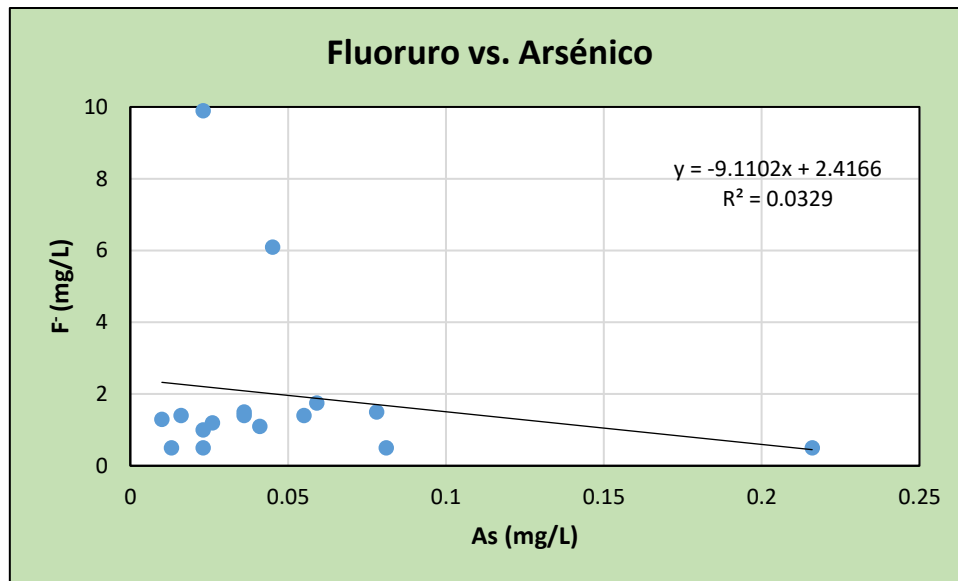


Figura 7.1.2.22. Relación entre el contenido de fluoruro y arsénico de las muestras analizadas.

ARSÉNICO

De acuerdo al Código Alimentario Argentino, el máximo valor permitido de As en el agua es de 10 µg/L, coincidente con el recomendado por la OMS, mientras que, para la provincia de Buenos Aires, el máximo permitido es de 50 µg/L. Su ingesta prolongada provoca una serie de efectos nocivos para la salud denominados conjuntamente como Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE) (Tello, 1986; Lepori, 2015).

En las muestras analizadas dentro de la cadena de dunas, el arsénico presenta un valor promedio de 48,8 µg/L, con un máximo de 216 y un mínimo de 10 µg/L. Si se tienen en cuenta datos antecedentes brindados por ABSA (Lexow y Bonorino, 2012), los cuales fueron tenidos en cuenta para realizar el mapa de su contenido (Figura 7.1.2.23), se puede evidenciar una gran variabilidad en términos de concentración y distribución, al igual que en el caso del fluoruro. Cabe destacar que, en el sector de llanura, por fuera de la cadena de médanos, es donde se encuentran los mayores tenores de este elemento (310 y 243 µg/L).

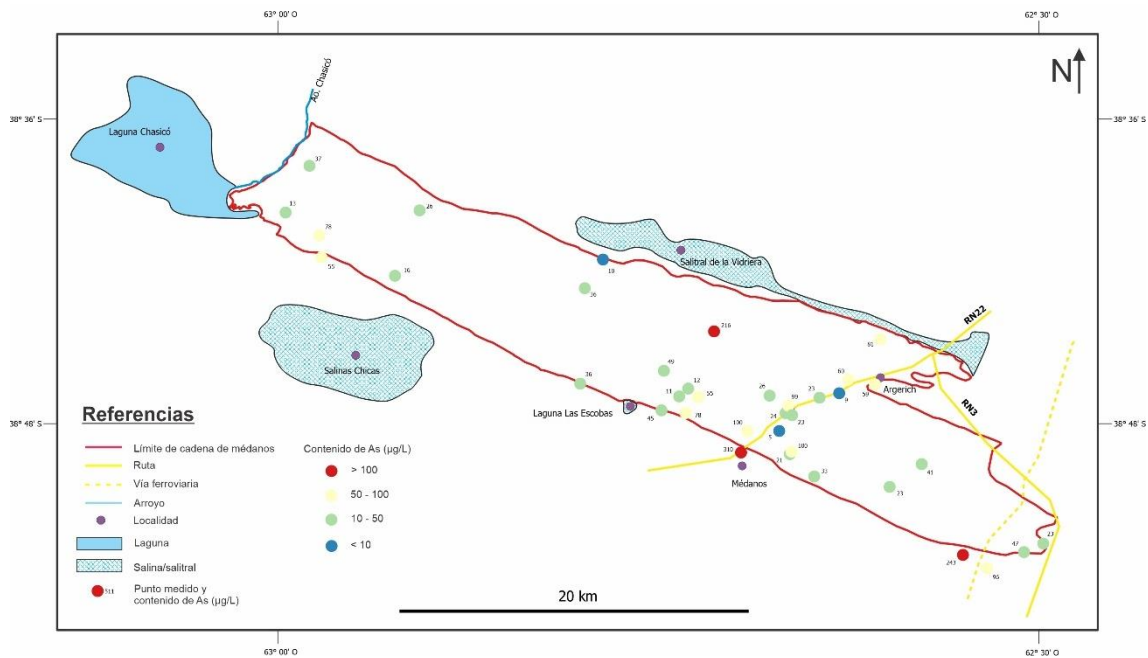


Figura 7.1.2.23. Mapa de contenido de arsénico de la zona de estudio.

De acuerdo a Farías *et al.* (2009), las concentraciones de arsénico en el partido de Villarino alcanzan los valores más altos en las proximidades de Médanos, de hasta 2140 µg/L, mientras que para el área circundante a las depresiones de Chasicó y Salinas Chicas (sector noroeste del área de estudio) mencionan valores de hasta 115 µg/L y para aguas de zonas identificadas como de recarga citan máximos de 11 µg/L. Como explicación a este fenómeno proponen como hipótesis una combinación de control paleogeográfico (paleocanales), con un control geoquímico basado en el intercambio catiónico, determinante en la movilidad del As. De forma complementaria, aunque como una contribución menor, y dado que estos sedimentos son recientes, en su mayor parte cuaternarios, también la meteorización moderna de minerales de procedencia no volcánica se ha propuesto como posible fuente del As. Según estos autores, esto explicaría a su vez las similitudes en el comportamiento de As, F, V, Mo y U, siendo el origen de estos elementos la meteorización de material de naturaleza volcánica contenido en los sedimentos, hipótesis tradicionalmente aceptada. Comportamientos hidrogeoquímicos similares de estos iones entre sí ya han sido detectados en otras regiones pampeanas (Florentino *et al.*, 2007; Smedley *et al.*, 2002). Cabe destacar que, como se mencionó anteriormente, de acuerdo a los análisis realizados para esta tesis, no se encontró una buena correlación entre las concentraciones de flúor y arsénico en las muestras de la cadena de médanos.

Puede considerarse a este oligoelemento como un “indicador”, que asocia altas concentraciones a pozos que atraviesan las arenas de la cadena de dunas y captan aguas, al menos en parte, de las unidades que se encuentra debajo de las mismas y en los alrededores en la llanura circundante. Como ya se mencionó, estas unidades contienen ceniza y material volcánico, que aportarían las elevadas concentraciones de arsénico que se registran fuera del

cordón de dunas. Los bajos valores registrados en las aguas subterráneas de las arenas del área de estudio, se deberían al escaso material volcanoclástico contenido en estos sedimentos respecto a las unidades subyacentes. Esto a su vez explicaría la distribución y variabilidad de los valores obtenidos dentro de la cadena de médanos.

La movilidad del As depende esencialmente de las condiciones redox y de pH del agua: a mayor pH, mayor movilidad. Si bien no se cuenta con análisis detallados para discernir entre las dos formas posibles del mismo (As^5 y As^3 , siendo esta última su forma más tóxica), dadas las condiciones oxidantes que prevalecen en las aguas subterráneas someras, se puede inferir que mayormente este ión se encontrará como As^5 . Sin embargo, de acuerdo a Nicolli *et al.*, 2012, el As^3 puede coexistir en proporciones importantes con As^5 aún en condiciones oxidantes. A su vez estas condiciones favorecen la disolución de F, B, V, Mo, Se y U (Fernández-Turiel *et al.*, 2005). Los estudios de especiación (determinación de los diferentes estados de oxidación de un elemento) de arsénico pueden ayudar a hacer una evaluación más precisa del impacto ambiental y del riesgo a la salud (Gong *et al.*, 2002; Schulz, 2022).

Las formas más comunes para disminuir el contenido de As en el agua, son las siguientes (una descripción detallada de cada método puede encontrarse en Auge, 2009): coagulación-precipitación-filtrado, adsorción, intercambio iónico y ósmosis. Esta última técnica permite además la reducción de otras sustancias indeseables (fluoruros, nitritos y nitratos, metales, hidrocarburos, plaguicidas, sulfatos, cloruros, sales totales, etc.) y es la utilizada por la empresa prestadora del servicio de agua potable en la localidad de Médanos, que cuenta con dos módulos, cada uno de ellos con una capacidad de filtración de 50 m³/h.

7.1.2.1 CORRELACIÓN CON DATOS ANTECEDENTES

La conductividad eléctrica del agua subterránea fue muestreada por Albouy *et al.* (2003) en 5 perforaciones someras realizadas en las proximidades de Salinas Chicas y la Laguna Chasicó, obteniendo valores entre los 995 y los 2000 $\mu S/cm$, mientras que las mediciones por Albouy (2005), en 5 pozos al sur de Argerich, arrojaron resultados entre 442 y 980 $\mu S/cm$. Bonorino (1974) cita valores cercanos a los 300 $\mu S/cm$ en la cadena de dunas y 9000 $\mu S/cm$ para la zonas bajas, mientras que en Bonorino (1979) obtuvo valores de conductividad eléctrica que van desde 413 a 7000 $\mu S/cm$, siendo más comunes aquellos que oscilan entre 1000 y 3000 $\mu S/cm$. Lexow y Bonorino (2012) obtuvieron medidas entre 569 y 2860 $\mu S/cm$ sobre la cadena de médanos al noreste de la localidad homónima.

En cuanto a los TSD, Lexow y Bonorino (2012), mencionan valores tan bajos como 357 mg/l, llegando hasta 1783 mg/l sobre la cadena de médanos al noreste de la localidad

homónima. Bonorino (1979) menciona valores de 350 a 480 mg/l en la zona central de la franja medanosa, llegando a superar incluso 1900 mg/l hacia los bordes de la misma.

En lo que respecta a la dureza, Bonorino (1974) registra valores en general por debajo de 100 mg/L de CO_3Ca , en los médanos, mientras que en los bajos alcanza los 1300 mg/L y en Bonorino (1979), cita valores entre los 102 y los 1555 mg/L de CO_3Ca , si bien las mayores concentraciones se registran al SO de Médanos, fuera de la cadena medanosa. Lexow y Bonorino (2012) mencionan valores entre 77 y 194 mg/L al oeste de la faja de médanos.

Para los cloruros, se citan tenores cercanos a los 100 mg/L para las aguas contenidas en la cadena de dunas, sin llegar a los 1949 mg/L en zonas bajas (Bonorino, 1974), mientras que en Bonorino (1979), se citan valores entre 34 y 289 mg/L, predominando los cercanos a 350 mg/L. Lexow y Bonorino (2012), obtuvieron concentraciones entre 41 y 120 mg/L en área de la cadena de médanos cercanas a la localidad homónima.

Valores antecedentes para los sulfatos muestran concentraciones medias que van de menos de 100 mg/L a poco más de 700 mg/L (Bonorino, 1974) y en un estudio posterior, tenores entre 8 y 1912 mg/L, con una media de 180 mg/L (Bonorino, 1979). Lexow y Bonorino (2012) mencionan valores entre 21 y 60 mg/L en los alrededores de la localidad de Médanos.

Finalmente, Bonorino (1979) registró valores de Fluoruro que van desde 0,8 mg/l hasta más de 4 mg/l, mientras que Lexow y Bonorino (2012) obtuvieron concentraciones entre 0,76 y 3,3 mg/L al oeste de la franja medanosa.

Los valores antecedentes aquí expuestos son consistentes con los relevados en este estudio, por lo que se deduce que, a grandes rasgos, la distribución areal de la concentración de iones disueltos en el agua subterránea no ha cambiado de manera significativa en las últimas décadas. Esto posiblemente se debería, tanto a la naturaleza poco reactiva del sedimento del acuífero, como a la falta de acciones antrópicas que alteren de manera significativa el balance hidrodinámico y/o hidroquímico del sistema acuífero en los puntos muestreados.

7.1.2.2 APTITUD DEL AGUA PARA DISTINTOS USOS

7.1.2.2.1 MARCO LEGAL

Con el paso del tiempo, las normas de potabilidad y calidad del agua han ido dirigiéndose hacia umbrales cada vez más estrictos. A nivel mundial, la Organización Mundial de la Salud (2018), fija valores de referencia para diferentes sustancias, aclarando en ciertos casos el carácter provisional de estos, por haber evidencia de peligro para la salud, pero información limitada sobre los efectos en la misma.

En nuestro país, el Código Alimentario Argentino (1969), dispuesto por la Ley Nacional N° 18.284/69 (y su Decreto Reglamentario N° 2.126/71, contiene las disposiciones higiénico-sanitarias, bromatológicas y de identificación comercial del Reglamento Alimentario aprobado por Decreto 141/53. En el capítulo XII, Artículo 982, actualizado el 12/2023, se encuentran las características físicas, químicas y biológicas con las que debe cumplir el agua para ser considerada potable (Anexo VII). Según el mismo, “con las denominaciones de Agua potable de suministro público y Agua potable de uso domiciliario, se entiende la que es apta para la alimentación y uso doméstico: no deberá contener sustancias o cuerpos extraños de origen biológico, orgánico, inorgánico o radiactivo en tenores tales que la hagan peligrosa para la salud. Deberá presentar sabor agradable y ser prácticamente incolora, inodora, límpida y transparente. El agua potable de uso domiciliario es el agua proveniente de un suministro público, de un pozo o de otra fuente, ubicada en los reservorios o depósitos domiciliarios.”

Por otro lado, en cuanto al apartado regulatorio de las empresas prestadoras de servicio de provisión de agua, mediante la Ley Provincial N°11.820/96, se establece “el Marco Regulatorio para la Prestación de los Servicios Públicos de Provisión de Agua Potable y Desagües Cloacales en la provincia de Buenos Aires, y las Condiciones Particulares de Regulación para la Concesión de los Servicios Sanitarios de jurisdicción provincial”. Esta ley fija las normas de calidad de agua potable, frecuencia de muestreos de la misma con la que la prestadora del servicio debe realizar los monitoreos y las técnicas analíticas para la determinación de sus características físicas, químicas y bacteriológicas (Anexo VIII). Cabe aclarar que establece, además, que el servicio prestado debe ser continuo y sin interrupciones regulares por deficiencias en los sistemas o capacidad.

Por último, la Ley Provincial N° 12.257/99 (Código de Aguas) establece el régimen de protección, conservación y manejo del recurso hídrico de la provincia de Buenos Aires, creando la Autoridad del Agua (ADA), el “ente autárquico de derecho público y naturaleza multidisciplinaria que tendrá a su cargo la planificación, el registro, la constitución y protección de los derechos, la policía y el cumplimiento y ejecución de las demás misiones que este Código y las Leyes que lo modifiquen, sustituyan o reemplacen”. La función principal de este organismo es reglamentar, supervisar y vigilar todas las actividades y obras relativas al estudio, captación, uso, conservación y evacuación del agua. Sus aspectos más relevantes se pueden encontrar en forma esquemática y resumida en Pastorino (2014).

7.1.2.2.2 APTITUD DEL AGUA PARA RIEGO

Una de las principales problemáticas de las zonas áridas y semi-áridas es la salinización de los suelos debido a las altas tasas de evapotranspiración en estas áreas, que tienden a

concentrar sales, alterando la estructura del suelo y disminuyendo además la capacidad de infiltración de los mismos, dificultando la captación de agua en la zona radicular de las plantas (Sánchez *et al.*, 2016).

Teniendo esto en cuenta, se utilizó para la caracterización de la aptitud del agua subterránea de la zona para riego, la clasificación propuesta por Richards (1969). Esta considera tanto la conductividad eléctrica como la denominada RAS (Relación de Adsorción de Sodio), la cual se calcula mediante la ecuación:

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

Donde las concentraciones de los iones están expresadas en mEq/L. El RAS mide el grado al cual el sodio en el agua de irrigación reemplaza al calcio y magnesio adsorbido en las arcillas del suelo, dañando así su estructura (Hounsflow, 1995). Con este valor calculado para cada muestra (Tabla 7.1.2.2.2.1), las mismas fueron ploteadas en un diagrama versus conductividad (Figura 7.1.2.2.2.1).

Tabla 7.1.2.2.2.1. Valores de RAS y CE correspondientes a cada muestra del acuífero freático.

Muestra	RAS	CE (μS/cm)
LE1	2.21	610
LM2	2.56	610
P11	4.40	1140
P19	13.14	1250
P32	20.13	6300
P33	12.44	3700
P34	4.61	700
P41	14.11	2300
P44	4.55	1900
P20	8.49	2250
P22	17.99	910
P26	9.65	2610
P27	28.21	3680
P28	0.91	590
P36	1.70	1430
P42	2.55	1580

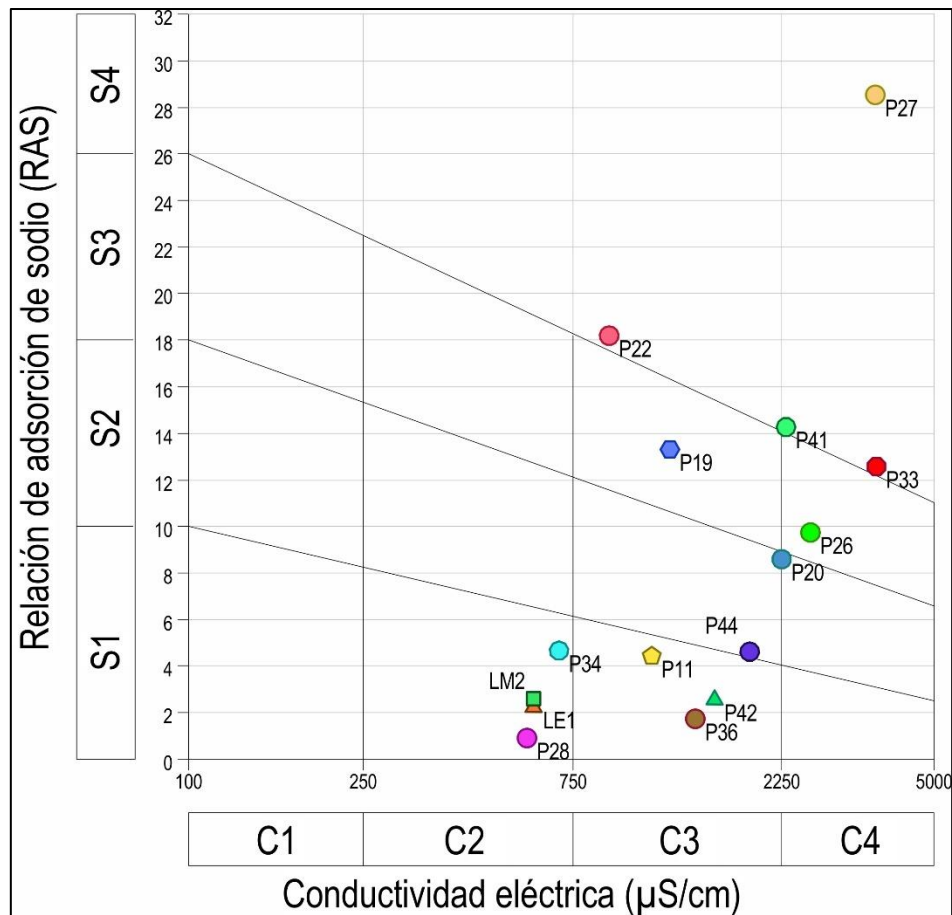


Figura 7.1.2.2.1. Ploteo de las muestras del acuífero freático en diagrama RAS vs CE.

La muestra P32 no es considerada para la clasificación ya que superan los valores de conductividad admisibles, por lo que es automáticamente descartada como agua apta para riego de acuerdo a esta metodología. De las 15 muestras restantes:

- 26% (4/15) clasifican como C2-S1.
- 20% (3/15) como C3-S1.
- 20% (3/15) como C4-S4
- 13% (2/15) como C3-S2
- 7% (1/15) como C3-S3.
- 7% (1/15) como C3-S4.
- 7% (1/15) como C4-S3.

El grupo C2-S1 puede ser utilizada para riego sin muchos inconvenientes cuando los suelos están sometidos a un lavado moderado. Todas las muestras que caen en una categoría C3 indica que pueden ser utilizadas con precauciones, siempre y cuando el drenaje del suelo no sea deficiente, condición que se cumple para los suelos arenosos del área de estudio. La categoría C4 en general no se considera apta para riego, al tratarse de aguas con un contenido demasiado elevado de sales.

Por otro lado, los grupos S1 y S2 pueden ser considerados generalmente aptos, ya que no presentan riesgos significativos de alcanzar niveles tóxicos de sodicidad, mientras que las muestras de los grupos S3 y S4 no se suelen considerar aptas para riego, ya que pueden alcanzar niveles tóxicos de sodio intercambiable.

De esta manera, el 56% de las muestras (9/16) resultan en mayor o menor medida, aptas para riego, teniendo en cuenta el excelente drenaje de los suelos arenosos en la zona de estudio, siendo el factor limitante en este caso la cantidad de sodio intercambiable. Su distribución areal se muestra en la Figura 7.1.2.2.2 expuesta a continuación.

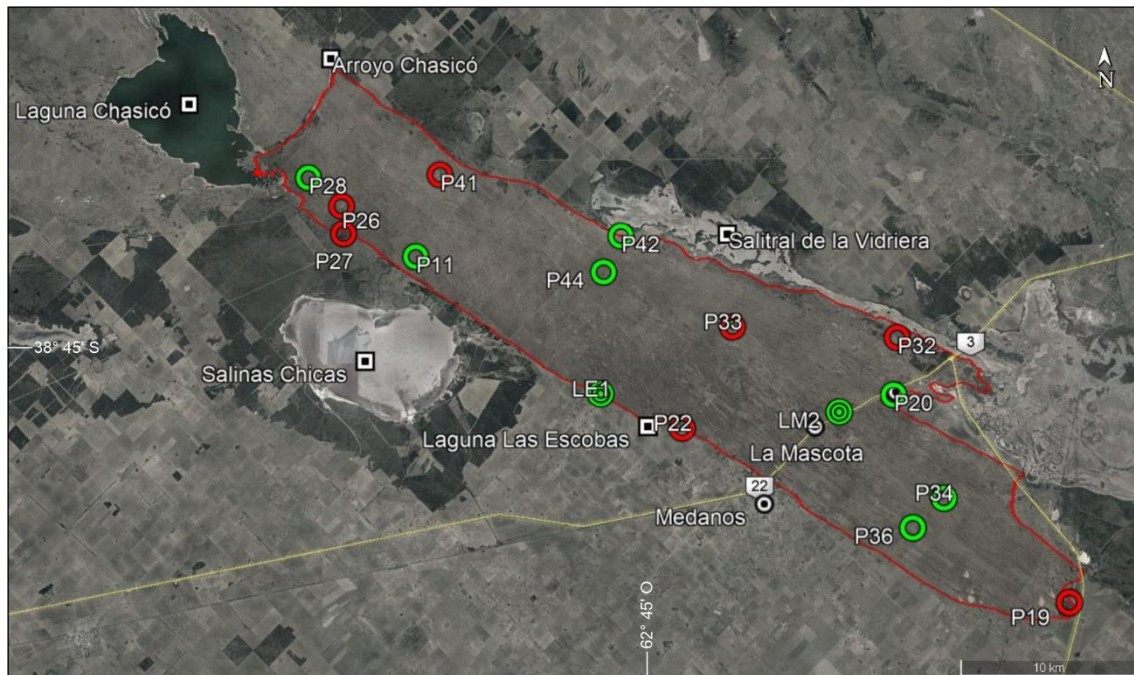


Figura 7.1.2.2.2. Distribución de las muestras clasificadas por su aptitud para riego. Los colores verdes indican que son aptas de acuerdo a la metodología utilizada, mientras que las resaltadas en rojo no lo son.

Dentro de las aguas con posibilidad de ser utilizadas, las mejores clasificadas son aquellas que se ubican en la porción central del sudeste de la cadena.

7.1.2.2.3 APTITUD DEL AGUA PARA BEBIDA ANIMAL

El agua consumida por los animales posee una importancia fundamental en su correcto desarrollo y crecimiento, por lo que contar con una noción de su aptitud para tal fin se torna de gran importancia. Dicho esto, si bien no existe una clasificación global, se utilizará para esta determinación la recopilada por Luque (2018) para el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (Tabla 7.1.2.2.3.1). Debe considerarse que en esta clasificación no se tiene en cuenta el tipo de alimentación de los animales, pasturas, suplementos y cualquier otro factor que podría ser de interés, por lo que aquí se tratará el tema como una primera aproximación, y se debería llevar a cabo un análisis más detallado según la actividad.

Tabla 7.1.2.2.3.1 Clasificación de agua para bebida animal basada en su salinidad y algunos elementos químicos, modificado de Luque (2018).

CE ($\mu\text{S/cm}$)	Clase
< 1500	Excelente
1500 - 5000	Muy satisfactoria
5000 - 8000	Satisfactoria para ganado, no apta para aves.
8000 - 11000	Uso limitado para ganado
11000 - 16000	De uso muy limitado
> 16000	No recomendable
Componente	Límite máximo (mg/L)
Arsénico	0,15 - 0,20
Flúor	2
Nitrato + Nitrito	100
Nitrito	10
Sulfato	1000 - 1200
Magnesio	300
Cloruro	7000
Cloruro de sodio	10000

De acuerdo a los límites establecidos por este autor, las muestras del área de estudio son, en general, aptas para consumo animal. Las conductividades son aceptables para ganado y aves (con excepción de la P32 que no es apta para consumo de estas últimas). En cuanto a los iones, una muestra se encuentra por encima del límite de As (P33) y dos por encima del de F (P19 y 922). Los iones restantes no presentan tenores por encima de los valores máximos permitidos. En la Figura 7.1.2.2.3.1 se muestra la distribución de las mismas.

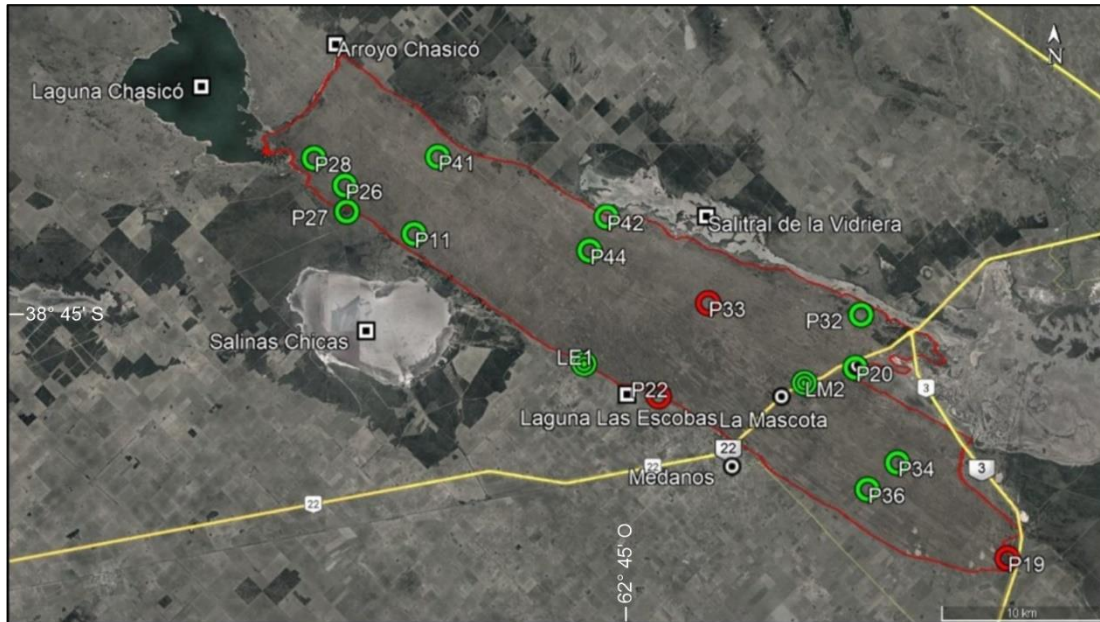


Figura 7.1.2.2.3.1. Distribución de las muestras clasificadas por su aptitud para bebida animal. Los colores verdes indican que son aptas, mientras que las marcadas en rojo no lo son.

De esta manera, resulta que, de acuerdo a esta clasificación, el 81% de las muestras (13/16) son aptas para bebida de ganado, mientras que el 75% (12/16) son aptas para consumo aviar.

7.1.2.2.4 APTITUD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO

Los límites máximos y mínimos admisibles para que el agua se considere potable para consumo humano se encuentran establecidos en el Código Alimentario Argentino (CAA) en su Capítulo XII (Anexo VII). En la Tabla 7.1.2.2.4.1 se presenta la comparación entre los iones de las muestras analizadas y dichos límites. Cabe aclarar que el CAA contempla un número de elementos que no fueron obtenidos en análisis de laboratorio, mientras que, en otros casos, no establece normativa alguna para otros. Un caso algo particular es el del fluoruro, que como fue mencionado anteriormente, sus límites vienen dados por la temperatura promedio de la zona, por lo que en este caso el rango admisible es entre 0,8 y 1,3 mg/L.

Tabla 7.1.2.2.4.1. Muestras analizadas según límites establecidos por el CAA. En cursiva se señalan aquellos valores que no se encuentran dentro de lo permitido, mientras que en negrita se resaltan las muestras cuyas concentraciones son aceptables para todos los analitos. *: Límite para el As aceptado en la provincia de Bs. As.

Parámetro considerado	pH	TSD (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	As (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	Dureza (mg/L)
Límite según CAA	6,5 – 8,5	1500	350	400	200	0,05*	0,8 – 1,3	400
LE1	7,7	271	37,9	26,5	66,1	0,036	1,4	165
LM2	7,8	273	49,9	22,1	71,2	0,023	< 1	142
P11	7,6	510	125	59,9	154	0,016	1,4	227
P19	7,8	560	70,9	250	260	0,023	9,9	73
P32	7,3	2990	1602	930	1159	0,081	< 1	616
P33	7,1	1680	549	265	610	0,216	< 1	445
P34	7,4	217	69,9	23,8	109	0,041	1,1	104
P41	7,3	837	479	198	435	0,026	1,2	176
P44	7,2	741	144	91,5	225	0,036	1,5	452
P20	7,85	1512	219,6	291	351	0,059	1,75	316
P22	8,25	673	35,9	19	204	0,045	6,1	24
P26	7,56	1729	415,3	216	402	0,078	1,5	321
P27	7,73	2344	782,7	315	762	0,055	1,4	135
P28	7,67	435	39,9	45	33	0,013	< 1	244
P36	7,07	910	157,7	99	87	0,023	1	483
P42	7,54	1090	171,7	124	132	0,01	1,3	497

Del análisis de esta tabla se desprende que, del total de las muestras, únicamente el 19% (3/16) cumplen con los requisitos del CAA para ser consideradas aptas para consumo humano. Las muestras restantes presentan uno o varios parámetros por encima de los niveles permitidos. Los iones que constituyen las mayores limitantes para su aptitud son el sodio y el flúor. Sólo el 44% y el 56% de las muestras, respectivamente, son aptas de acuerdo a estos analitos.

Debido a que los valores en varios de los elementos analizados restringen el uso del agua del acuífero para su consumo humano, debe tenerse en cuenta la posibilidad de diferentes tratamientos que remuevan iones de la misma para llevarla a límites admisibles para ser considerada apta para la ingesta humana. Entre ellos, la ósmosis inversa es el método aplicado por la prestataria del servicio de agua de la localidad de Médanos, que posee allí una planta de tratamiento. Debe considerarse que esto acarrea un costo, logística e infraestructura extra que deben ser contemplados, por lo que estudiar y delimitar áreas o zonas de ubicación de captaciones de agua subterránea, para extraer agua de la mejor calidad posible, resulta de gran interés en la gestión del recurso hídrico.

7.1.2.3 ESTRATIFICACIÓN HIDROQUÍMICA

Estudios geofísicos realizados con anterioridad en el área detectaron un incremento apreciable de la salinidad en el agua subterránea entre los 14 y 29 m de profundidad (Lexow y Bonorino, 2012). Según los autores, esto marcaría el límite vertical inferior de una lente de agua de baja salinidad, que descansa sobre una más salobre y extensa, dando lugar a una estratificación hidroquímica dentro del sistema, con una zona de transición debido a la miscibilidad de los fluidos (Figura 7.1.2.3.1). El mayor espesor de agua dulce se encontraría en el centro de la cadena medanosa, disminuyendo lateralmente. En acuíferos no confinados de sedimentos permeables, las precipitaciones infiltran continuamente y esta recarga contribuye al desarrollo de la lente de agua dulce, que desplaza hacia abajo al agua salada circundante (Falkland y Custodio, 1991).

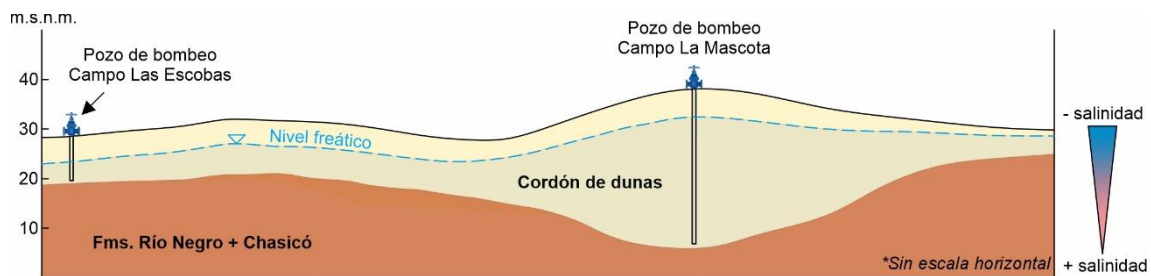


Figura 7.1.2.3.1. Corte esquemático (sin escala horizontal) donde se representa el incremento de salinidad en profundidad y los mayores espesores de agua dulce en el centro de la cadena, coincidente con los mayores espesores del cordón de dunas.

Una fuerte explotación puede alterar este equilibrio, provocando la entrada de agua salada en los pozos e inducir una contaminación por bombeo. Cuanto mayor sea el caudal de bombeo y mayor la penetración del mismo, esta entrada puede darse con mayor intensidad, por lo que la determinación de caudales a los cuales esta entrada de agua más salina no se produzca es de vital importancia. Esta situación puede ser monitoreada a través de un control periódico de la composición del agua, a profundidades donde se ubica la zona de transición antes mencionada. Por otro lado, este fenómeno puede verse dificultado por la existencia de capas de menor permeabilidad intercaladas en la secuencia de sedimentos.

La profundidad donde se da cambio en la salinidad del agua parece coincidir a grandes rasgos con el techo de un paquete de pelitas rojizas asignables a la Fm. Chasicó. La mineralogía de las mismas (crf. Capítulo 4, sección 4.1.2) afectaría la química del agua, limitando fuertemente su potabilidad y uso. La meteorización de ceniza y material volcánico presente en estos sedimentos, al ser alterados en contacto con el agua subterránea, pueden liberar elementos indeseables tales como flúor y arsénico al acuífero.

La profundidad a la que se encuentra dicha capa, y, por tanto, la ubicación aproximada de la zona de mezcla anteriormente mencionada, de acuerdo a los estudios llevados a cabo mediante tomografías de resistividad eléctrica realizadas en esta tesis, estaría entre los 12 y 18 m de profundidad, llegando incluso a los 40 m en ciertos sectores con estructuras asimilables a paleocanales. Esto muestra una notable coincidencia con lo determinado por Lexow y Bonorino (2012) por medio de sondeos eléctricos verticales.

CAPÍTULO 8: RECARGA, RESERVA Y RECURSO

El conocimiento y cuantificación de la recarga, los recursos y reservas de un acuífero es un punto clave a partir del cual se puede llevar a cabo una correcta gestión de las aguas subterráneas, de manera racional y sustentable, tanto en el presente como en el futuro, a fin de no comprometer la cantidad y/o calidad del agua y el sistema subterráneo. El conocimiento de estos parámetros, la estimación de su valor y su demanda antrópica, es el punto base a partir del cual se puede realizar una correcta planificación de los mismos.

8.1 ESTIMACIÓN DE LA RECARGA

La recarga puede definirse como el proceso natural o artificial por el cual se produce la entrada de agua a un acuífero (FCIHS, 2009). En zonas áridas y semiáridas, su estimación se dificulta por la vasta variabilidad espacial y temporal de los eventos hidrogeológicos que la provocan, siendo un proceso esporádico más que continuo como en zonas húmedas (Kinzelbach *et al.*, 2002).

Se suele clasificar a la recarga en difusa y concentrada (Healy, 2010). Por recarga difusa se entiende cuando el proceso se da a lo largo de grandes áreas como respuesta a infiltración de agua de lluvia a través del suelo, percolando hasta la zona saturada. Por otro lado, la recarga concentrada hace referencia al movimiento de agua desde cuerpos de agua superficiales (lagos, ríos, etc.) hacia el acuífero.

Cabe aclarar además que lo que se estima mediante los métodos de recarga es la "recarga potencial" (Lerner, 1990), es decir, que se puede dar el caso en que no todo el monto de agua recargable entra al acuífero, debido a fenómenos tales como evaporación desde niveles someros y recarga rechazada (ascenso de la superficie freática) o capas de tosca en el subsuelo que impiden la infiltración de agua hacia la zona saturada, por nombrar algunos escenarios posibles.

Se debe considerar, para este caso de estudio en particular, que la baja pendiente y granulometría que predomina en la zona generan una rápida infiltración del agua de lluvia, lo que lleva a asumir la falta de escorrentía superficial, simplificando los cálculos realizados y disminuyendo la cantidad de información requerida para los mismos, y, por ende, los posibles errores. Sin embargo, si bien los procesos y mecanismos de la recarga en estos ambientes son relativamente bien conocidos, la obtención de una estimación fiable de la magnitud de la recarga natural presenta aún grandes dificultades dada la variabilidad temporal y espacial de la misma (Carrica *et al.*, 2018).

A continuación, se llevarán a cabo los cálculos para la estimación de este proceso según algunas metodologías, que fueron detalladas oportunamente (*crf.* Capítulo 2, sección 2.7).

8.1.1 BALANCE HÍDRICO

Se realizó un balance de agua de paso diario con el software BALSHORT V.3 (modificado de Carrica, 1993). Como datos de entrada se utilizan:

- La precipitación diaria.
- La ETP mensual, asumiendo la simplificación propuesta por Forte Lay y Burgos (1983), donde el valor diario de ETP se considera constante para cada día del mes y resulta de dividir la ETP mensual por el número de días.
- La humedad del suelo, textura del mismo y cobertura vegetal (intercepción, basándose en el método de Horton).

A partir de esto se calculan la ETR y los excesos hídricos (equivalentes a la recarga).

Los datos de entrada cargados corresponden a la serie de 34 años de precipitación diaria para la localidad de Médanos (1972-2005) brindada por ABSA, los datos de ETP medidos en la localidad de Argerich en tanque Tipo "A" y la calculada a partir de diferentes fórmulas: Penman-Monteith, mediante el software CROPWAT, Hargreaves-Samani y la calibración de la misma, válida para la zona propuesta por Almorox *et al.* (2012) (*crf.* Capítulo 3, sección 3.4.5). El programa BALSHORT V.3 convierte los datos de ETP mensuales en diarios. Los datos de entrada restantes fueron ingresados como: suelo de textura arenosa, con una retención de hasta 24 mm, en base a una profundidad radicular máxima de 30 cm y una retención específica de 8% (arenas) (Geological Survey Water-Supply Paper 1839 D, 1967; Sánchez *et al.*, 1998). La opción de cobertura vegetal escogida fueron pastos, con una capacidad de intercepción de la lluvia fijada en un máximo de 5 mm.

Los resultados del balance hidrológico diario y seriado del suelo, en valores anualizados del 1 de enero de 1972 al 31 de diciembre de 2005 se presentan en la Tabla 8.1.1.1:

Tabla 8.1.1.1. Resultados del balance de agua del software BALSHORT V3 de acuerdo a los diferentes cálculos de ETP. En negrita se destacan los años con valores de recarga extremos.

Resultados de Balance de agua de paso diario - BALSHORT V3			ETP Tanque Tipo "A"				ETP Penman-Monteith				ETP Hargreaves-Samani				ETP Almorox et al. (2012)			
			ETR Anual		Exceso Hídrico Anual		ETR Anual		Exceso Hídrico Anual		ETR Anual		Exceso Hídrico Anual		ETR Anual		Exceso Hídrico Anual	
Año	Precipitación (mm)	Intercepción vegetal (mm)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
1972	524	43	366.9	70	165.1	31.5	399.7	76.3	133.5	25.5	402.9	76.9	130.6	24.9	394.8	75.4	138.3	26.4
1973	508	33	312.5	61.5	197.4	38.9	145.8	68.1	163.1	32.1	647.5	68.4	161	31.7	339.1	66.7	169.8	33.4
1974	375	34	308	82.1	64.6	17.2	321.3	85.7	52.5	14	322.7	86	51.4	13.7	320.7	85.5	52.9	14.1
1975	532	36	324.9	61.1	209.5	39.4	338.9	63.7	194.4	36.5	339.1	63.7	193.8	36.4	336.2	63.2	197.2	37.1
1976	966	53	489.5	50.7	475.9	49.3	538	55.7	427.8	44.3	543	56.2	422.9	43.8	529.6	54.8	436.2	45.2
1977	672	46	403.3	60	269	40	424.4	63.1	247.8	36.9	429.1	63.9	242.9	36.2	421.5	62.7	250.7	37.3
1978	536	43	342.5	63.9	192.5	35.9	372.2	69.4	163.4	30.5	374.6	69.9	161.2	30.1	368.2	68.7	167.4	31.2
1979	499	36	363.5	72.8	136.5	27.4	737.9	74.9	125.5	25.2	375.3	75.2	124	24.8	372.3	74.6	127.2	25.5
1980	686	39	346.5	50.5	338.9	49.4	376.1	54.8	308.8	45	378.5	55.2	306.6	44.7	372.1	54.5	312.7	45.6
1981	399	36	337	84.5	58.3	14.6	358.7	89.9	38.8	9.7	361.6	90.6	36.3	9.1	355.7	89.2	41.7	10.5
1982	570	42	383	67.2	191.6	33.6	433.1	76	139.5	24.5	432.2	75.8	139.8	24.5	423.9	74.4	149	26.1
1983	729	42	394.5	54.1	322.4	44.2	431.8	59.2	287.4	39.4	436.3	59.8	284.1	39	425.7	58.4	293.3	40.2
1984	626	35	385.3	61.6	252.8	40.4	410.5	65.6	225.3	36	409.4	65.4	225.3	36	405.1	64.7	230.9	36.9
1985	521	42	391.7	75.2	120.7	23.2	418.9	80.4	95.4	18.3	422.5	81.1	92.7	17.8	414.6	79.6	99.6	19.1
1986	493	40	360	73	132.2	26.8	376.7	76.4	116.7	23.7	378.9	76.9	114.8	23.3	374.7	76	118.7	24.1
1987	464	35	325.3	70.1	148.1	31.9	348	75	122.2	26.3	346.9	74.8	122.2	26.3	343.1	74	127.3	27.4
1988	420	31	241.2	57.4	178.8	42.6	255.9	60.9	164.1	39.1	257.4	61.3	162.6	38.7	254.1	60.5	165.9	39.5
1989	583	35	325.8	55.9	257.2	44.1	357.5	61.3	255.5	38.7	357.3	61.3	255.7	38.7	352.4	60.4	230.6	39.6
1990	475	37	351.2	73.9	123.9	26.1	364.3	76.7	110.7	23.3	364.8	76.8	110.2	23.2	362.4	76.3	112.6	23.7
1991	525	37	341.9	65.1	178.9	34.1	384.1	73.2	138.1	26.3	384.7	73.3	138	26.3	376.8	71.8	145.3	27.7
1992	789	46	463	58.7	330	41.8	497.9	63.1	293.8	37.2	500.9	63.5	290.3	36.8	492.9	62.5	299	37.9
1993	467	32	336.9	72.1	129.8	27.8	369.6	79.1	97.4	20.9	372.8	79.8	94.2	20.2	363.7	77.9	103.3	22.1
1994	546	41	387.7	71	144	26.4	409.1	74.9	123.8	22.7	412.8	75.6	121	22.2	406.4	74.4	126.4	23.1
1995	340	33	292.1	85.9	62.2	18.3	297.5	87.5	55.4	16.3	297.5	87.5	54.7	16.1	296.7	87.3	56.4	16.6
1996	635	35	385.2	60.7	250.4	39.4	414.2	65.2	221	34.8	416.4	65.6	218.7	34.4	410.3	64.6	224.9	35.4
1997	579	48	356.8	61.6	222	38.3	389.7	67.3	189.3	32.7	391.2	67.6	187.7	32.4	385	66.5	193.9	33.5
1998	478	24	268.7	56.2	209.5	43.8	278.4	58.2	199.7	41.8	279.8	58.5	198.2	41.5	276.9	57.9	201.2	42.1
1999	547	41	383.7	70.1	159.1	29.1	401.8	73.5	142.2	26	404.9	74	139.6	25.5	398.9	72.9	145	26.5
2000	448	40	307.4	68.6	144.9	32.3	328.4	73.3	122.6	27.4	331.2	73.9	119.3	26.6	323.8	72.3	127.3	28.4
2001	625	52	389.1	62.3	235.9	37.7	440.5	70.5	184.5	29.5	442.1	70.7	182.9	29.3	431.5	69	193.5	31
2002	512	43	342.5	66.9	169.3	33.1	361.2	70.6	150.7	29.4	362	70.7	150	29.3	358.5	70	153.5	30
2003	384	34	270.3	70.4	113.2	29.5	286.8	74.7	97.1	25.3	287.5	74.9	96.5	25.1	284.9	74.2	99	25.8
2004	710	49	382.2	53.8	325.7	45.9	415.7	58.6	293	41.3	419	59	290.1	40.9	409.8	57.7	298.9	42.1
2005	428	38	347.8	81.3	80.3	18.8	362.7	84.7	65.1	15.2	364.4	85.1	63.4	14.8	360.5	84.2	67.3	15.7
Promedio	546.8	39.2	353.2	66.2	193.8	33.9	383.7	70.8	169	29.3	389.6	71.1	167.1	29	374.8	70.1	172.3	30

Del análisis de la misma se desprende que, en valores anualizados promedio y en función de la ETP utilizada para el cálculo, se obtienen los siguientes resultados:

- Precipitación: 546,8 mm
- Interceptación vegetal: 39,2 mm.
- Evapotranspiración real: entre 353,2 mm (66,2 % de la precipitación) y 389,6 mm (71,1 % de la precipitación).
- **Recarga: entre 167,1 mm (29 % de la P) y 193,8 mm (33,9% de la P).**
- Variación de la reserva ~ 0.

Los años con valores de recarga extremos de la serie (las planillas completas con las salidas del software correspondientes se pueden encontrar en el Anexo IX), destacados en negrita, son:

- El año 1976, con una P de 966 mm y un valor de recarga entre 422,9 mm (43,8% de la precipitación) y 475,9 mm (49,3% de la precipitación).
- El año 1981, con una precipitación de 399 mm y un valor de recarga entre 36,3 mm (9,1% de la precipitación) y 58,3 mm (14,6 % de la precipitación).

En la Figura 8.1.1.1 se grafican los valores de precipitación y recarga anuales para toda la serie, calculados utilizando la ETP de tanque tipo "A" de Argerich y mediante la fórmula de Penman-Monteith. Al observar el mismo queda de manifiesto la marcada variabilidad temporal de la recarga, ya que la misma, depende de las precipitaciones, las cuales presentan significativas variaciones anuales.

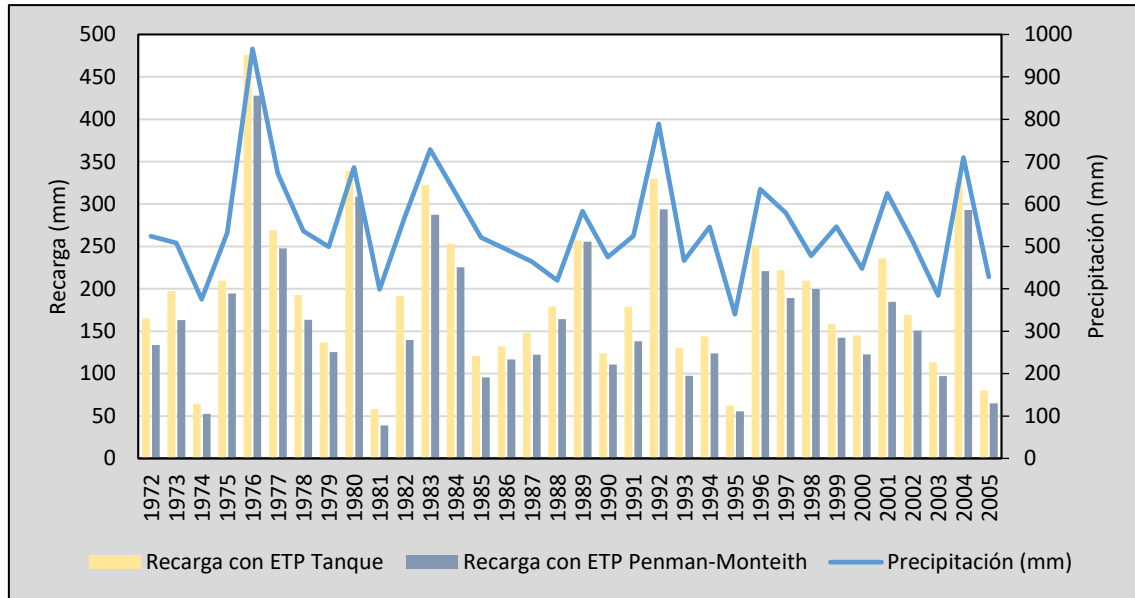


Figura 8.1.1.1. Recarga y precipitaciones anuales de acuerdo al balance de agua en el suelo.

Utilizando este mismo software, Carrica *et al.* (2012) estiman la recarga anual media en el área, para el período 1973-2005, en 194,7 mm (35,3% de la precipitación anual media de 551 mm). Estos mismos autores, llevando a cabo una simulación del balance de agua en la ZNS mediante la aplicación del código HYDRUS 2D/3D (Simunek *et al.*, 2006), obtuvieron para el período 1973-2005 una recarga promedio anual de 185 mm (33% de la precipitación). Di Martino (2014) y Carrica *et al.* (2018) obtuvieron valores porcentuales comparables para las localidades de Monte Hermoso y Base Baterías, en ambientes similares a los de la zona de estudio. Albouy (2005) estima la recarga anual media, para el período 1945-1985, en 88 mm (16,4 % de la precipitación anual media considerada de 536,8 mm).

Mariño y Bonorino (1996), Hendrickx y Walker (1997), Gai y Hernández (1999) y Dornes y Schulz (2001), entre otros, obtuvieron valores porcentuales similares en zonas medanosas tales como el área de estudio.

8.1.2 BALANCE DE MASAS DEL IÓN CLORURO

Para efectuar los cálculos con el uso de esta metodología, se consideraron los valores de concentración en el agua de lluvia en 9 muestras recolectadas entre 2021 y 2022 en la localidad de Médanos, cuyo valor promedio fue de 0,09 mEq/L (*crf.* Capítulo 7, sección 7.1.1).

El cloruro en el agua subterránea fue calculado en base al contenido en 3 pozos ubicados en zonas de recarga preferencial de la cadena medanosa (Tabla 8.1.2.1). La precipitación utilizada corresponde a la media del período 1972-2005 para la localidad de Médanos, de 546,8 mm/año.

Tabla 8.1.2.1. *Contenido de cloruros en el agua subterránea y valores de FEC calculados considerando las lluvias de proximidades de la Laguna Chasicó y de la localidad de Médanos.*

Pozo	Cl- (mg/L)	Cl- (mEq/L)	FEC
LE1	37,9	1,08	12,042
P22	35,9	1,02	11,406
LM2	49,9	1,42	15,854
Promedio	41,23	1,17	13,101

Tomando el valor de FEC promedio obtenido en la tabla anterior, el cálculo de recarga queda expresado como:

$$R = 546,8 \text{ mm/año} * 1/13,101$$

$$R = 42,6 \text{ mm/año (7,8 \% de la precipitación)}$$

Comparando los valores de recarga promedio obtenidos con los calculados a partir del balance de agua en el suelo, se observa una notable diferencia entre ellos. Esto podría deberse a que, en este caso, los cálculos realizados con el ion cloruro son representativos de eventos de tormenta individuales cuya recarga coincide con las recargas mínimas obtenidas mediante el balance de agua en el suelo para períodos largos de tiempo.

De esta manera, no se considera que estos valores sean errados, sino que no poseen una representación temporal tal que permitan una comparación lineal con otras metodologías aplicadas. Considerando lo anterior, la recarga promedio calculada con este método resulta del 7,8% de la precipitación media anual, con máximos de 8,8% y mínimos de 6,3%.

Carrica *et al.* (2012) obtuvieron con este mismo método valores promedio de recarga de 186 mm (33,8% para una precipitación anual media de 550 mm), con máximos de 54,5% y mínimos de 20%, utilizando el promedio de la concentración de Cl^- de 9 pozos en la cadena medanosa y 1 pozo inactivo en el centro de la misma, respectivamente, mientras que Lexow y Bonorino (2012) estimaron la recarga entre 52 y 65%. En estos casos, el valor de cloruro en la lluvia utilizado para el cálculo fue el promedio obtenido en muestras de la zona de la Laguna Chasicó (0,676 mEq/L), sensiblemente mayores a los observados en sectores cercanos. Probablemente la concentración de este ión se encontraría influenciada por la evaporación directa de este cuerpo de agua, aumentando en consecuencia los valores de recarga obtenidos.

Ruffo (2022) obtuvo utilizando esta misma metodología valores promedio de recarga del 32% de la precipitación para la zona medanosa costera del sudoeste de la provincia de Buenos Aires, con máximos de 61% y mínimos de 18%.

8.1.3 ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE OSCILACIONES DEL NIVEL FREÁTICO

Bonorino *et al.* (1989a) realizaron el análisis de freatigramas en ambientes medanosos en el balneario Chapalcó, cercano al área de estudio, para registros continuos de poco más de un año (1988-1989) obteniendo valores de recarga entre 53,9 y 55% de las precipitaciones para dicho período, análogos a los calculados por Bonorino *et al.* (1989b) para el paraje La Masallé, cercano a la Laguna Epecuén. Los valores obtenidos mediante esta metodología, al ser calculados con una serie corta de registros, se encuentran fuertemente influenciados por la pluviometría de ese período. Por otro lado, en Bonorino (1979), el autor calcula mediante este mismo método un valor de recarga de 16,4% de las precipitaciones para el período 1966-1972.

8.1.4 RESULTADOS: ANÁLISIS Y CONCLUSIONES

Los valores de recarga obtenidos mediante las diferentes metodologías oscilan entre el 8% y 34% de la precipitación anual y son congruentes con los obtenidos por otros autores, tanto para el área de estudio como para zonas medanosas similares.

Los cálculos realizados mediante la metodología del balance de agua en el suelo a paso diario (que arrojan una recarga promedio de alrededor del 30% de la precipitación) se consideran los más representativos, no solo por la amplitud temporal de la serie de precipitación utilizada sino también por ser el método que mejor reproduciría las condiciones de superficie y ambientales del lugar.

8.2 RESERVA

La reserva hídrica subterránea (RHS) representa el volumen de agua en un acuífero en un instante determinado y suele expresarse en Hm^3 . Para el caso de un acuífero libre como el aquí tratado, su valor queda determinado por el volumen saturado multiplicado por la porosidad eficaz (o coeficiente de almacenamiento), por lo que es necesario haber establecido con precisión tanto la geometría como las características hidráulicas del sistema.

Realizando un primer cálculo aproximado, tomando sobre la totalidad de la superficie del área de estudio de unos 460 Km^2 , un espesor medio saturado de 3 m (García y García, 1964; Bonorino, 1979), con una porosidad eficaz para la arena de 0,2 (es decir, 20%), se obtiene:

$$\text{RHS} = A (\text{área}) * B (\text{espesor saturado promedio}) * S (\text{porosidad eficaz})$$

$$\text{RHS} = 460 \text{ Km}^2 * 0,003 \text{ Km} * 0,20 = 0,276 \text{ Km}^3 = 276 \text{ Hm}^3$$

Lo cual arroja un volumen de reservas de 276 Hm^3 para el área considerada.

Realizando el mismo cálculo sobre esta área, pero considerando un espesor saturado promedio de 4 m, determinado mediante los datos de geofísica obtenidos para esta tesis, se obtiene un volumen de reservas de **368 Hm^3** , un 33% mayor al calculado anteriormente.

Para determinar con un mayor grado de precisión las RHS del área de estudio, se dividió la misma en sectores de acuerdo a los datos geofísicos presentados anteriormente y se ponderó el espesor saturado promedio de cada una de ellas por su superficie (Figura 8.2.1). La definición de dichos sectores, fue llevada a cabo teniendo en cuenta, tanto los datos geofísicos disponibles, como el conocimiento de la morfología freática a partir de un censo de puntos de agua y el modelo conceptual de funcionamiento del acuífero del cordón de dunas.

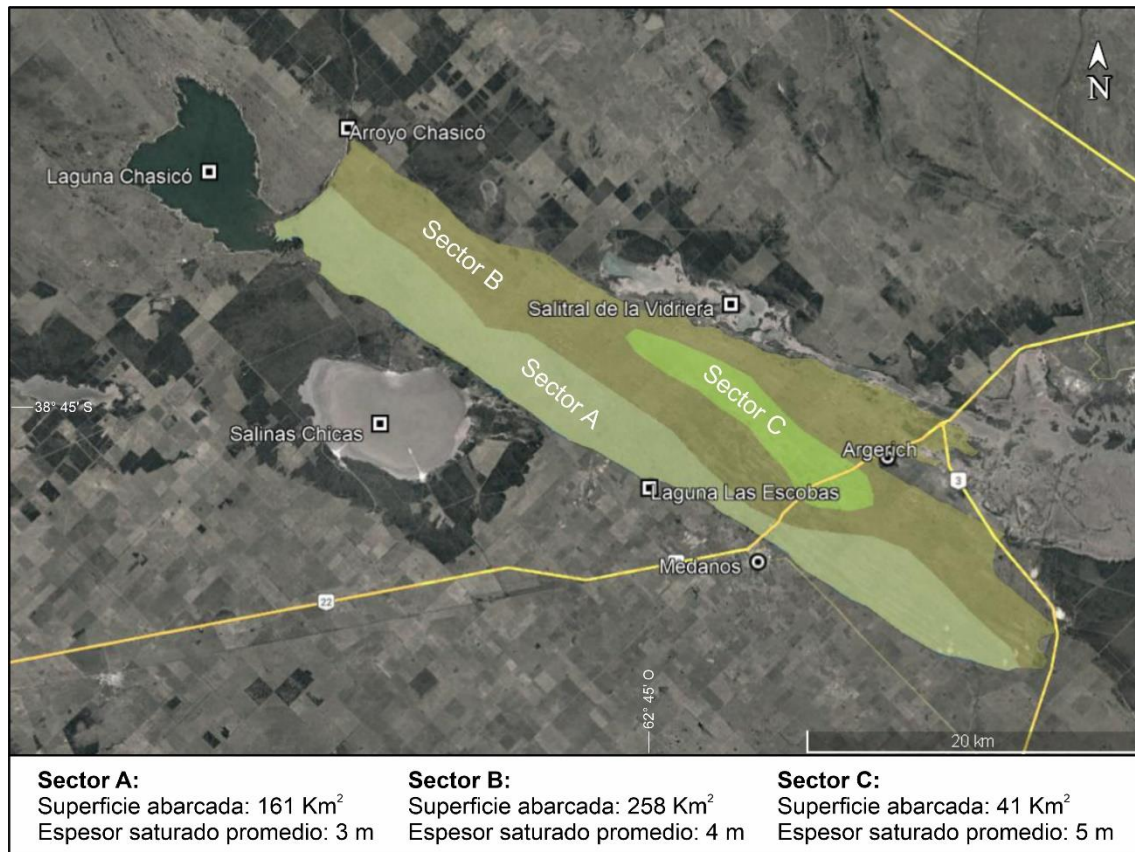


Figura 8.2.1. Subdivisión del área de estudio en sectores para el cálculo de reservas hídricas subterráneas.

De esta manera, el cálculo de las reservas hídricas subterráneas se calcula como:

$$\text{RHS Sector A: } 161 \text{ Km}^2 * 0,003 \text{ Km} * 0,20 = 0,0966 \text{ Km}^3 = 96,6 \text{ Hm}^3$$

$$\text{RHS Sector B: } 258 \text{ Km}^2 * 0,004 \text{ Km} * 0,20 = 0,2064 \text{ Km}^3 = 206,4 \text{ Hm}^3$$

$$\text{RHS Sector C: } 41 \text{ Km}^2 * 0,005 \text{ Km} * 0,20 = 0,041 \text{ Km}^3 = 41 \text{ Hm}^3$$

$$\text{RHS totales} = 344 \text{ Hm}^3$$

Con esta metodología de cálculo se obtiene un volumen de **RHS totales de 344 Hm³**, lo cual representa un 24% más que la primera estimación de reservas, en la que se usó el espesor saturado según datos antecedentes, y un 6,5% menos que en el segundo, en el cual se tomó un espesor saturado promedio según datos propios. De esta manera el RHS se ubican entre 276 y 368 Hm³, considerando el valor de 344 Hm³ como la estimación más apropiada de acuerdo a los datos disponibles.

8.3 RECURSO

Se puede definir al recurso hídrico subterráneo como un volumen de la reserva hídrica que puede explotarse de manera sustentable (FCIHS, 2009), entendiéndose por esto último que su utilización no afecte su calidad y cantidad a futuro. Su valor suele expresarse en $\text{Hm}^3/\text{año}$. El mismo depende de la cantidad de agua que ingresa al acuífero (recarga) y la superficie y características geológicas de éste, es decir, que la recarga media anual de un acuífero equivale al recurso potencial (Di Martino *et al.*, 2014).

Considerando una precipitación promedio de 546,8 mm/año y recarga en torno al 30% de las mismas, se obtiene un valor de recarga de 64 mm/año. Tomando el área ocupada por el cordón de dunas de 460 Km^2 , el recurso hídrico potencial (RHP) queda expresado como:

$$\text{RHP} = 460000000 \text{ m}^2 * 0,164 \text{ m/año}$$

$$\text{RHP} = 75440000 \text{ m}^3/\text{año} = 75,44 \text{ Hm}^3/\text{año}$$

De esta manera, el RHP equivale a 75,44 $\text{Hm}^3/\text{año}$, que representa el 21,93% de las reservas hídricas subterráneas (RHS) calculadas en la sección anterior.

Este volumen de agua anual representa la cantidad que ingresa al sistema y mantiene el equilibrio natural hidrodinámico e hidroquímico del acuífero, balanceándolo con las descargas naturales (evaporación directa y descarga subterránea). Sin embargo, a fines de asegurar la preservación de dicho equilibrio y obtener una explotación racional y sustentable a lo largo del tiempo, Ponce (2007) sugiere que los porcentajes medios explotados deberían ser de alrededor del 40% del recurso hídrico potencial, con los menos conservadores alrededor del 70% y los más conservadores alrededor del 10%.

De esta manera, se obtiene un volumen de **30,18 $\text{Hm}^3/\text{año}$ (8,77 % de las RHS)**, siendo 52,80 $\text{Hm}^3/\text{año}$ (15,34 % de las RHS) y 7,54 $\text{Hm}^3/\text{año}$ (2,19 % de las RHS) los valores menos y más conservadores, respectivamente. Este volumen expresa la cantidad que puede extraerse de manera segura sin afectar el equilibrio para lograr la explotación sustentable antes mencionada.

Cabe aclarar que las reservas permiten cubrir la oferta de agua en aquellos años con escasa lluvia en donde el recurso generado por la recarga es inferior a la media anual. Es decir, la reserva puede asociarse o sumarse al recurso solo ocasionalmente y para cubrir una demanda estacional (Lexow y Bonorino, 2012).

8.4 DEMANDA ANTRÓPICA

De acuerdo a datos de ABSA. S.A, en la provincia la demanda de agua es de alrededor de 300 L diarios por habitante (ABSA, 2019), mientras que según Vigier *et al.* (2019), el consumo por habitante en el partido de Villarino es de 36,64 m³ anuales, es decir, unos 100 L diarios, valor que se alinea al recomendado por la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2003). El consumo para agricultura y ganadería es despreciable al no contar con cultivos o volumen ganadero de importancia en la cadena medanosa.

De acuerdo a los últimos datos disponibles por localidad, correspondientes al censo nacional de 2010, Médanos cuenta con 5245 habitantes, mientras que Argerich tiene 124 y La Mascota, posee 31 habitantes permanentes, totalizando 5400 habitantes en las localidades comprendidas en el área de estudio, sin contar población rural dispersa (INDEC, 2010). Estimaciones de ABSA calculan la demanda de la localidad de Médanos para los próximos años en unos 80 m³/h permanentes, lo que implica 0,7 Hm³/año, mientras que se tiene en cuenta la estimación realizada por Vigier *et al.* (2019) el consumo rondaría los 0,198 Hm³/año. Estos consumos representan el 0,2 % y 0,06 % de la reserva (344 Hm³) y el 0,93 % y 0,26 % del recurso, respectivamente, para la totalidad del área de estudio.

8.4.1 EXPLOTACIÓN DEL ACUÍFERO MEDIANTE CAMPOS DE BOMBEO

En la mayoría del partido de Villarino, el servicio de provisión de agua potable estuvo concesionado al sector privado entre julio de 1999 y principios de 2002, a la empresa estadounidense Azurix. S.A., la cual se encargaba de la captación, tratamiento y distribución en el partido y la mayor parte de la provincia de Buenos Aires. Previamente, el servicio había estado a cargo del estado. En marzo de 2002, la prestación de los servicios de agua potable y desagües cloacales fue asumida por Aguas Bonaerenses S.A. (ABSA), cubriendo en un principio la misma zona que su antecesora, situación que se continua hasta la actualidad.

El Organismo de Control de Aguas de Buenos Aires (OCABA) era en un principio el ente autárquico que verifica el servicio y su ajuste a las normas que rigen la concesión, de acuerdo a lo establecido en el Marco Regulatorio (Decreto 878/03, promulgado en 2003). Sin embargo, el mismo fue disuelto a principios de 2018 y sus funciones fueron asumidas por la Autoridad del Agua (ADA).

En Argerich el agua proviene de perforaciones al acuífero hidrotermal profundo de Bahía Blanca (SHP) y es de entrega gratuita. La operación del servicio es llevada a cabo por el Municipio. Si bien el agua es de elevada alcalinidad, todos sus parámetros químicos están

dentro del rango aceptable según el Código Alimentario Argentino (1969). Por otro lado, muchas propiedades cuentan con captaciones particulares al acuífero freático.

Para la localidad de Médanos, el servicio es operado por ABSA y el abastecimiento se efectúa mediante tres baterías de captaciones de agua subterránea con una capacidad de producción de alrededor de 45 m³/h: Campo Las Escobas, Campo La Morocha y Campo La Mascota (Figura 8.4.1.1). Se debe considerar que ya sea por mantenimiento o reparación, no todos los pozos se encuentran en funcionamiento pleno en todo momento.

Se efectúan análisis químicos del agua de estos pozos cada 3, 6, 9 y 12 meses. El principal problema del servicio de esta localidad es que, como ya se comentó anteriormente, la cantidad de agua subterránea es limitada y fuertemente dependiente de las lluvias. Además, por ser perforaciones poco profundas y de suelo arenoso, son susceptibles de contaminación bacteriológica.

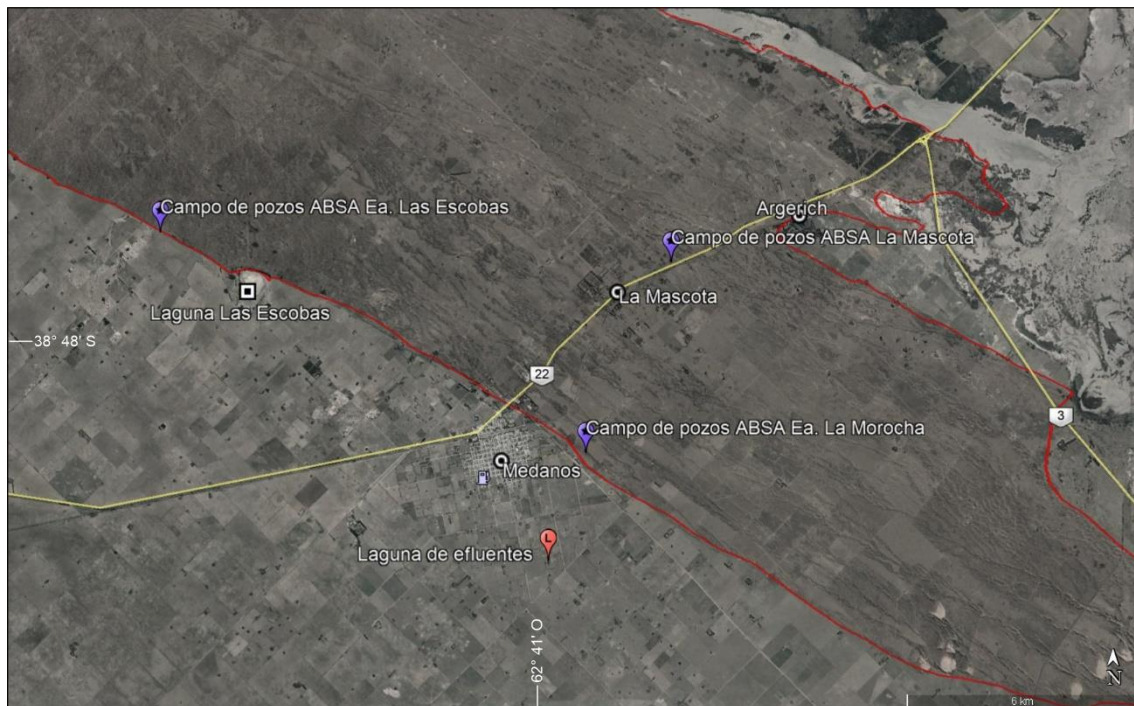


Figura 8.4.1.1. Baterías de pozos pertenecientes a ABSA. En rojo se marca el límite de la cadena de médanos.

La calidad en la red es buena debido a la continua cloración y al tiempo de contacto en el tanque centralizado de la localidad, sumado a la planta de ósmosis inversa ubicada en la sucursal de ABSA (Figura 8.4.1.2). La misma cuenta con una capacidad de 100 m³/h y es utilizada para el tratamiento principalmente del F y As del agua del campo de pozos La Morocha. Posterior al tratamiento, se realiza una mezcla del agua tratada con agua sin tratar hasta alcanzar niveles de potabilización acordes a la ley. El volumen de rechazo generado por el proceso, de alrededor de un 30%, es inyectado en pozos antiguos y utilizado por la municipalidad para riego.



Figura 8.4.1.2. Planta de ósmosis inversa utilizada para el tratamiento del agua del campo de bombeo La Morocha.

La cobertura del servicio de agua es de aproximadamente el 85% y la del servicio de cloacas de 17%, según datos del INDEC. El cuerpo receptor de los desagües cloacales es una laguna de tratamiento con reúso del agua para riego, ubicada fuera de la cadena de médanos.

Campo de bombeo Ea. Las Escobas

Se trata de una batería ubicada sobre el límite oeste de la cadena de médanos, situada a aproximadamente 10 km al noroeste de la localidad homónima (Figura 8.4.1.3). Son 9 pozos operativos (los restantes se encuentran fuera de uso) con profundidades que generalmente rondan los 12 a 14 m con bombas sumergibles de 1,5 HP.

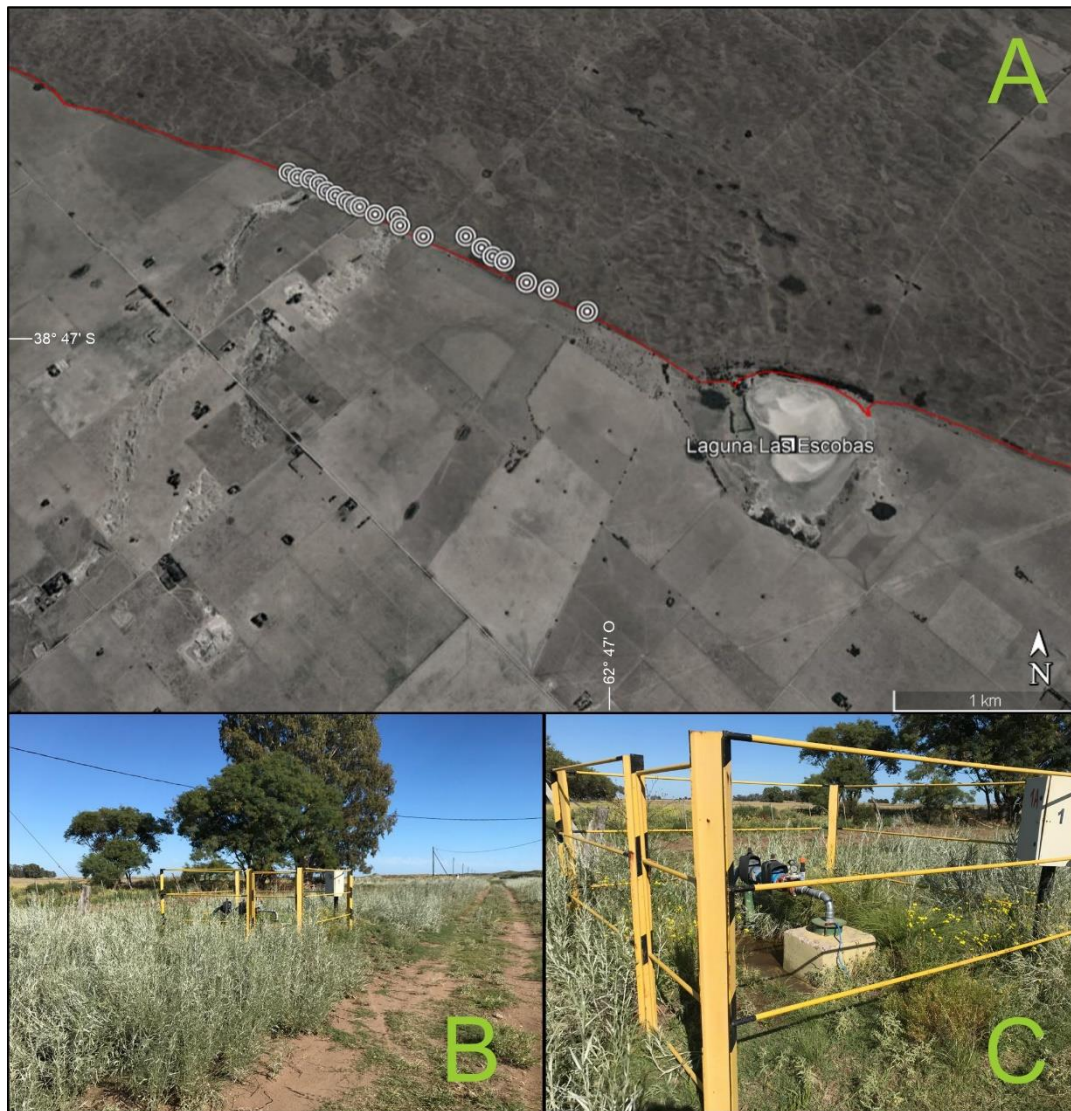


Figura 8.4.1.3. Ubicación de las captaciones de Las Escobas (A). Panorámica del sitio (B). Pozos del campo de bombeo (C).

Las mediciones de profundidad del nivel freático en captaciones que se encontraban fuera de servicio en ese momento rondaron entre los 7 y los 10 m bajo el nivel del terreno, dependiendo de la topografía, mientras que el pH medido in-situ fue de 7,6 y la conductividad eléctrica de 584 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El agua obtenida es de buena calidad, por lo que no es necesario su tratamiento en la planta de ósmosis inversa. De este campo de bombeo se extraen alrededor de 15 m^3/h .

Campo de bombeo Ea. La Morocha

Esta batería se ubica unos 2 km al este de Médanos. La realización de las captaciones fue llevada a cabo por el S.P.A.R. (Servicio Provincial de Agua Potable y Saneamiento Rural), organismo que fue absorbido en 2018 por el ADA (Autoridad del Agua).

Cuenta con un total de 40 captaciones de entre 30 y 35 m de profundidad , equipadas con bombas de 0,75 HP, aunque raramente se encuentran todas operativas simultáneamente (Figura 8.4.1.4).



Figura 8.4.1.4. Ubicación de las captaciones de La Morocha (A). Pozos del campo de bombeo (B y C).

Si bien no fue posible realizar mediciones del nivel freático (debido a que todas las perforaciones estaban tapadas), si se analizó una muestra de agua in situ, obteniendo un pH de 8,5 y una CE de 1212 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Por su alto contenido de F y As, el agua extraída de estas perforaciones (sumada a la de dos pozos de características similares situados en la sucursal de ABSA) es tratada en la planta de ósmosis inversa. De este campo de bombeo se obtienen alrededor de 15 m^3/h .

Campo de bombeo La Mascota

Estos pozos se ubican a 1,5 km al noreste de la localidad homónima, sobre la RN22. (Figura 8.4.1.5). Se trata de 4 captaciones (aunque se planea incorporar una más en un futuro cercano), ubicadas aproximadamente en el centro de la cadena de médanos. Son pozos de alrededor de 45 m de profundidad equipados con bombas de 3 HP.



Figura 8.4.1.5. Ubicación de las captaciones de La Mascota.

La profundidad del nivel freático medido en dos de los pozos que se encontraba fuera de servicio en el momento fue de 10,67 m y 6,85 m respectivamente (con una apreciable diferencia entre ellos en la cota topográfica), mientras que el pH medido fue de 7,9 y la CE de 587 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El agua extraída es de buena calidad, por lo que no es tratada en la planta de ósmosis inversa. De estas captaciones se extraen un total de alrededor de 15 m^3/h , siendo, con diferencia, las perforaciones con mejor rendimiento individual de todas las utilizadas por la prestataria del servicio.

Caudal total bombeado

De los tres campos de pozos, en total se bombean unos 1080 m^3/d , o lo que es lo mismo, unos 0,39 $\text{Hm}^3/\text{año}$ (sin tener en cuenta interrupciones en el servicio y asumiendo que el mismo se mantuviese constante). Esto representa el 0,11% de la reserva y el 0,52 % del recurso de toda la cadena de dunas.

A su vez, si se consideran los volúmenes de demanda antrópica calculados en la sección anterior, queda de manifiesto que el caudal bombeado de 0,39 $\text{Hm}^3/\text{año}$ llega a cubrir poco más de la mitad la demanda para los próximos años calculada por ABSA (0,7 $\text{Hm}^3/\text{año}$).

CAPÍTULO 9: VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO A LA CONTAMINACIÓN

9.1 INTRODUCCIÓN

En regiones áridas y semiáridas, el agua subterránea suele ser en muchas ocasiones la única fuente disponible de agua para consumo humano, además de su uso para industrias, agricultura y ganadería, por lo que una valoración de su vulnerabilidad a la contaminación y el delineamiento de áreas más propensas a la misma se vuelve imprescindible (Ighbal *et al.*, 2014).

Si bien no hay una definición universalmente aceptada, se puede decir que el agua está polucionada cuando su composición es modificada directa o indirectamente, por la actividad del hombre, en una medida que su utilización se ve restringida para todos o alguno de aquellos usos para los que podría servir en su estado natural. Por otro lado, se la denomina contaminada cuando su alteración es tal que no puede ser utilizada para la bebida sin afectar la salud del hombre (Custodio y Llamas, 1983). Sin embargo, es usual encontrar estos dos términos empleados de manera indistinta.

En el caso de la vulnerabilidad del acuífero, se la puede definir como el grado de protección que el entorno natural provee contra la diseminación de la contaminación en el agua subterránea (Ghazavi y Ebrahimi, 2015). Se trata de las características de un acuífero que determinan su sensibilidad de ser afectado por contaminación, ya sea antrópica o natural. Por lo tanto, la vulnerabilidad se refiere a la sensibilidad del acuífero a una cierta acción y no a la intensidad de la misma. Cabe aclarar que la aproximación a la caracterización de la vulnerabilidad es de carácter cualitativo y no cuantitativo, por lo que los resultados para un mismo caso pueden variar dependiendo del método empleado.

A su vez, se puede clasificar en intrínseca y específica (National Research Council, 1993). La vulnerabilidad intrínseca se define como la facilidad con la cual un contaminante introducido en la superficie del suelo puede alcanzar el agua subterránea y difundirse (Vrba y Zoporozec, 1994). La específica es usada para definir la vulnerabilidad del agua a contaminantes específicos (Gogu y Dassargues, 2000).

9.2 RESULTADOS OBTENIDOS

9.2.1 MÉTODO GOD

Sus siglas hacen referencia a "Groundwater occurrence, Overall aquifer class, Depth to groundwater". Como su nombre lo indica, para su evaluación se tienen en cuenta tres parámetros: grado de confinamiento hidráulico (G), ocurrencia del estrato suprayacente (O) y

distancia al nivel de agua subterránea o al techo del acuífero (D). A cada uno de ellos se les otorga una valoración determinada entre 0 y 1 (Figura 9.2.1.1) y el índice de vulnerabilidad es el resultado de la multiplicación de la valoración de estos tres factores.

Por lo tanto, la fórmula para el índice GOD puede expresarse como:

$$V_i = G * O * D$$

Donde: V_i = Valoración resultante del índice de vulnerabilidad a la contaminación

G = Valoración según el grado de confinamiento hidráulico

O = Valoración según la ocurrencia del estrato suprayacente

D = Valoración de la distancia al nivel de agua subterránea o techo del acuífero

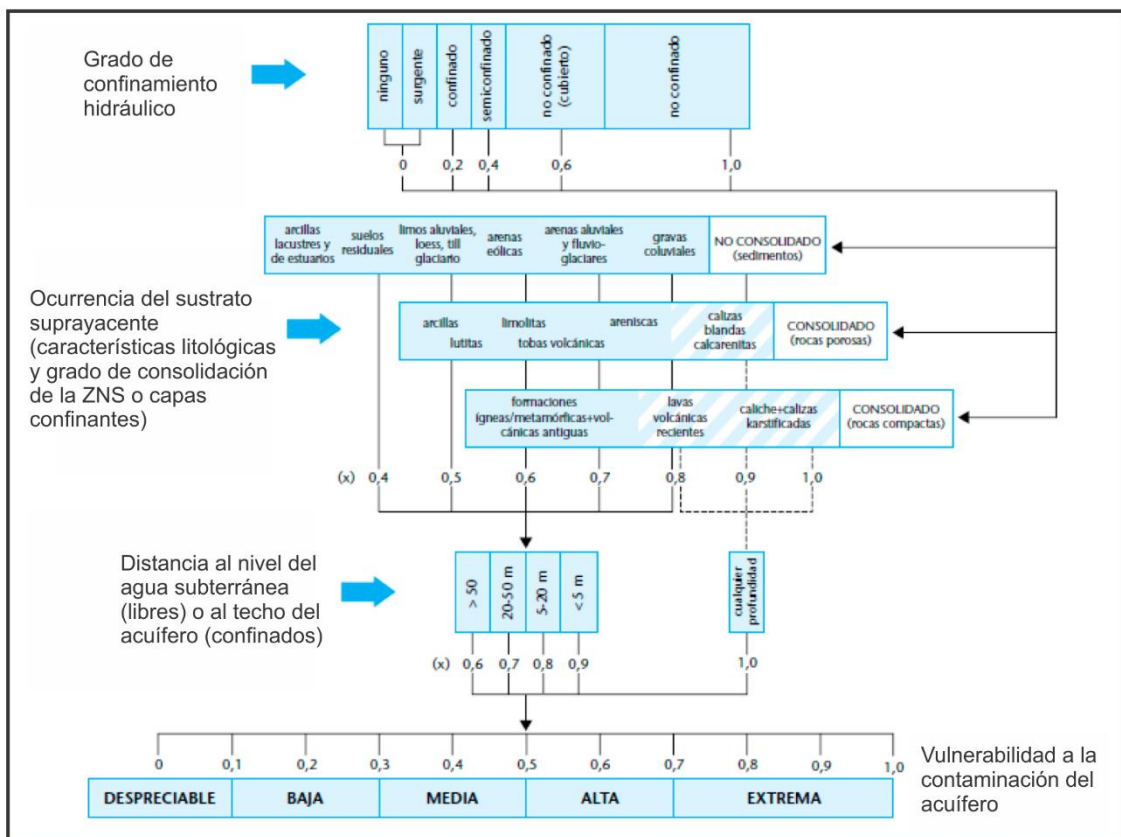


Figura 9.2.1.1. Valoración de los parámetros del índice GOD (Modificado y traducido de Foster et al., 2002).

El índice resultante puede ser dividido en 5 categorías, como muestra la Tabla 9.2.1.1, con su definición de acuerdo a su grado de vulnerabilidad:

Tabla 9.2.1.1. Categorías de vulnerabilidad del método GOD.

PUNTAJE	VULNERABILIDAD	DEFINICIÓN
0,7 – 1,0	Extrema	Vulnerable a la mayoría de contaminantes, con rápido impacto.
0,5 – 0,7	Alta	Vulnerable numerosos contaminantes, excepto aquellos fuertemente absorbidos o rápidamente transformados.
0,3 – 0,5	Moderada	Vulnerable a algunos contaminantes cuando su descarga es continua.
0,1 – 0,3	Baja	Vulnerable a contaminantes conservativos en el largo plazo cuando su descarga es continua y sobre un gran área.
<0,1	Despreciable	Capas confinantes presentes sin flujo vertical significativo.

De acuerdo a esta metodología, se realizaron los cálculos considerando las características propias del área de estudio, es decir:

- Un acuífero de tipo no confinado, que se corresponde con una valoración de 1,0.
- Un sustrato suprayacente de arenas eólicas, a las que se le asigna una valoración de 0,6.
- Una distancia al nivel de agua subterránea que varía en la zona entre la categoría “menor a 5 m” (valoración 0,9) y el campo “5 a 20 m” (valoración 0,8).

De esta manera, la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación en el área de estudio queda definida a partir únicamente de la profundidad del nivel freático, ya que los dos parámetros restantes se mantienen constantes en toda la zona considerada:

$1,0 \times 0,6 \times 0,9 = 0,54$ - Zona con vulnerabilidad alta

$1,0 \times 0,6 \times 0,8 = 0,48$ - Zona con vulnerabilidad media

Esto arroja como resultado el mapa de vulnerabilidad de la Figura 9.2.1.2, donde se observa, como era esperable, que la zona menos vulnerable es la porción sudeste del área de estudio, correspondiente a los mayores espesores de la ZNS. La superficie restante de la cadena medanosa es considerada de vulnerabilidad alta según la metodología, ya que la profundidad al nivel freático es en general baja.

Mapa de vulnerabilidad (método GOD)

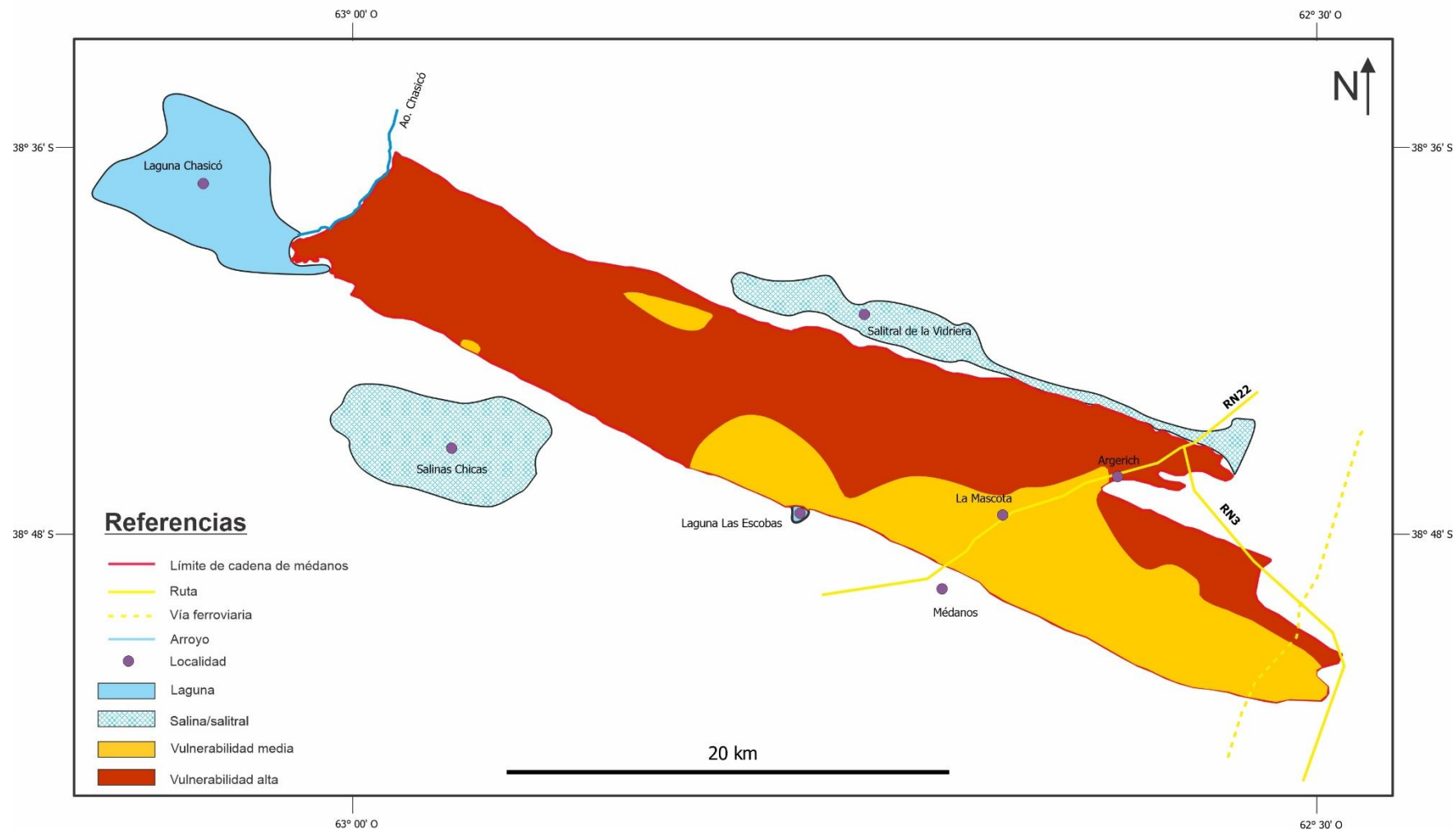


Figura 9.2.1.2. Mapa de vulnerabilidad obtenido mediante la aplicación del método GOD en el área de estudio.

9.2.2 MÉTODO DRASTIC

Este método se basa en la asignación de índices que van del 1 al 10 (1 indicando la mínima vulnerabilidad y 10 la máxima) de las siete variables que componen su nombre (Tabla 9.2.2.1): D (Depth, profundidad del nivel freático), R (Recharge, recarga neta), A (aquifer, litología del acuífero), S (soil, tipo de suelo), T (topography, topografía), I (impact, litología de la zona no saturada) y C (hydraulic conductivity, conductividad hidráulica del acuífero). Además, a cada variable se le asigna un índice de ponderación entre 1 y 5. Ambos índices se multiplican para cada variable y luego se suman los 7 resultados, obteniendo así un índice de vulnerabilidad entre 23 (valor mínimo) y 230 (valor máximo), siendo más frecuentes los valores entre 50 y 200. Por lo tanto, la fórmula puede expresarse como:

$$\text{Índice de vulnerabilidad} = DrDw + RrRw + ArAw + SrSw + TrTw + IrIw + CrCw$$

Donde:

r = Valor obtenido para cada parámetro.

w = Índice de ponderación.

Tabla 9.2.2.1. Rangos y valores de los parámetros y sus índices de ponderación (modificado de Aller et al., 1987).

(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 (LITOLOGÍA DEL ACUÍFERO)			S (TIPO DE SUELO)	
Descripción	Rango	Valor	Descripción	Valor
Arcillas, margas, limos	1-3	2	Arcilla no expansiva y agregada	1
Ígneas/metamórficas	2-5	3	Suelo orgánico	2
Ígneas/metamórficas alteradas	3-5	4	Marga arcillosa	3
Alternancia de areniscas, arcillas y calizas	5-9	6	Marga limosa	4
Areniscas masivas	4-9	6	Marga	5
Calizas masivas	4-9	6	Marga arenosa	6
Arenas, gravas y conglomerados	4-9	8	Arcilla expansiva y/o agregada	7
Volcánicas	2-10	9	Turba	8
Calizas carstificadas	9-10	10	Arena	9
			Grava	10
			Delgado o ausente	10
T (TOPOGRAFÍA)		C (CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA)		
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 (LITOLOGÍA DE LA ZONA NO SATURADA)				
Descripción	Rango	Valor		
Arcilla, limo, margas	1-2	1		
Esquistos, pizarras	2-5	3		
Calizas	2-7	6		
Areniscas	4-8	6		
Alternancia de calizas, areniscas y arcillas	4-8	6		
Arenas y gravas con contenido en arcilla	4-8	6		
Metamórficas, ígneas	2-8	4		
Arenas y gravas	6-9	8		
Volcánicas	2-10	9		
Calizas carstificadas	8-10	10		
PARÁMETROS		ÍNDICE DE PONDERACIÓN (w)		
D - Profundidad del nivel freático		5		
R - Recarga neta		4		
A - Litología del acuífero		3		
S - Tipo de suelo		2		
T - Topografía		1		
I - Litología de la zona no saturada		5		
C - Conductividad hidráulica		3		

Se pueden tomar como intervalos de caracterización del índice DRASTIC los presentados a continuación en la Tabla 9.2.2.2:

Tabla 9.2.2.2. Categorías de vulnerabilidad del método DRASTIC.

PUNTAJE	VULNERABILIDAD
<100	Insignificante
101-119	Muy baja
120-139	Baja
140-159	Media
160-179	Alta
180-199	Muy alta
>200	Extrema

En el caso de esta metodología, se consideraron los siguientes valores de cada parámetro para su aplicación:

- D variable según el nivel piezométrico del punto considerado, tomando valores desde 10 (profundidad del nivel piezométrico menor a 1,5 m) hasta 5 (profundidad del nivel piezométrico entre 10 y 20 m). El índice de ponderación para este parámetro es 5.
- R toma un valor de 6 en toda el área, ya que la recarga neta, del orden del 30% de las precipitaciones (tomando el promedio de los cálculos tanto propios como de antecedentes), es de unos 164 mm/año y homogénea en todo el sitio considerado. El índice de ponderación para este parámetro es 4.
- A con un valor de 7 en toda el área, al tratarse de arenas eólicas finas a medias. El índice de ponderación para este parámetro es 3.
- S con un valor de 9, al tratarse de un suelo arenoso en toda el área de estudio. El índice de ponderación para este parámetro es 2.
- T toma un valor de 10, considerando una pendiente media de 0,2% en el área de estudio. El índice de ponderación para este parámetro es 1.
- I, al tratarse de una zona no saturada compuesta por arenas con un porcentaje muy bajo de material fino, se le asigna un valor de 7. El índice de ponderación para este parámetro es 5.
- C adquiere un valor de 4, considerando una conductividad hidráulica para toda el área de unos 17 m/d. El índice de ponderación para este parámetro es 3.

De esta manera, aplicando la fórmula de cálculo del método DRASTIC, quedan definidas dentro de la zona de estudio 4 índices de vulnerabilidad:

- En el caso de zonas con el nivel piezométrico a menos de 1,5 m de profundidad:

$$10*5+6*4+7*3+9*2+10*1+7*5+4*3 = 170 - \text{Vulnerabilidad alta}$$

- En el caso de zonas con el nivel piezométrico a entre 1,5 y 5 m de profundidad:

$$9*5+6*4+7*3+9*2+10*1+7*5+4*3 = 165 - \text{Vulnerabilidad alta}$$

- En el caso de zonas con el nivel piezométrico a entre 5 y 10 m de profundidad:

$$7*5+6*4+7*3+9*2+10*1+7*5+4*3 = 155 - \text{Vulnerabilidad media}$$

- En el caso de zonas con el nivel piezométrico a entre 10 y 20 m de profundidad:

$$5*5+6*4+7*3+9*2+10*1+7*5+4*3 = 145 - \text{Vulnerabilidad media}$$

El mapa resultante mediante esta metodología es idéntico al realizado aplicando el método GOD, donde se puede observar que la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación varía entre media a alta, vinculada directamente con la profundidad del nivel freático. Esto deja de manifiesto que, si bien el método DRASTIC tiene en cuenta más parámetros que el método GOD a la hora de realizar el cálculo de vulnerabilidad, estos no llegan a tener una incidencia importante en el resultado obtenido debido a las características litológicas homogéneas del área estudiada.

CAPÍTULO 10: HUMEDALES

El territorio argentino cuenta con una gran variedad y cantidad de humedales. Estos ecosistemas albergan una destacable biodiversidad, resguardando flora y fauna silvestre, transformando y degradando nutrientes y contaminantes y actuando como reguladores del clima a nivel local y regional, al mismo tiempo que prestan muchos otros servicios, muchas veces intangibles para la sociedad (servicios ecosistémicos). Pueden ser utilizados en ciertos casos también como sitios de recreación y turismo.

Una gran proporción de los humedales están vinculados de algún modo a las aguas subterráneas, tanto más cuanto más árida sea el área (Custodio, 2018), de hecho, los factores hidrológicos son los que definen las líneas generales del carácter y el funcionamiento de los mismos.

Si bien no existe una definición científica única de los humedales, si se pueden enumerar ciertas características compartidas que los identifican: la presencia de un sustrato periódicamente saturado por agua (donde la misma se encuentra cerca de la superficie o en superficie como una manifestación hídrica somera) y la presencia de vegetación freatófita, pueden definir un ambiente de humedal (Bastianelli *et al.*, 2018). En los casos en que no está presente la lámina de agua superficial pero la humedad edáfica es mayor y el nivel freático muy próximo a la superficie, dando lugar al desarrollo de suelos y plantas diferentes, González Bernáldez y Montes (1989) proponen la designación de este tipo de sistemas como criptohumedales. Hay que tener en cuenta, además, el papel que juega el factor del tiempo en estos sistemas, ya que zonas que reúnen todos los requisitos para ser un humedal, dependiendo del balance hidrológico y la escala temporal considerada, pueden coincidir o encasillarse mejor dentro de sistemas terrestres, fluviales, lacustres o marinos.

En los últimos 15 o 20 años, el pensamiento de los gestores políticos y el público en general ha virado hacia actitudes conservacionistas de los humedales. En nuestro país, la conservación y el uso de estos ecosistemas queda regulada por medio de implementación de la Convención de RAMSAR (Ramsar, 2010), mediante la sanción de la Ley 23.919, que entró en vigor en el año 1992. La Convención de RAMSAR es un tratado internacional que provee el marco de desarrollo para la conservación, desarrollo y uso de los humedales y sus recursos. Conocer el funcionamiento de estos sistemas y su vinculación con las aguas subterráneas es clave para el planteo de una gestión responsable y sustentable de estos ambientes, manteniendo su integridad ecológica. Por este último término se entiende la capacidad del humedal para mantener su estructura, funcionamiento y dinámica además de su capacidad para absorber el estrés generado por las perturbaciones de origen natural y/o humano (Montes *et al.*, 1998; Westra *et al.*, 2000).

10.1 CLASIFICACIÓN Y TIPIFICACIÓN DE LOS HUMEDALES EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Pese a la importancia ambiental de los humedales pampeanos, en la mayoría de los casos se carece de información que permita definir de manera precisa un modelo conceptual de su funcionamiento hidrológico (Romanelli *et al.*, 2010). Hoy en día se entiende que para proteger y/o gestionar eficazmente un humedal es necesario estudiar su origen y su comportamiento, así como relacionar ambos aspectos con los de otros humedales. Esto implica necesariamente una ordenación sistemática de los mismos, es decir, una clasificación (Manzano *et al.*, 2002).

De acuerdo a las "Regiones de humedales de la Argentina" (Blanco *et al.*, 2017), los humedales presentes en el área se clasifican en la "Región de Humedales de La Pampa", dentro de la Subregión 8b: "Lagunas salobres de la Pampa Interior", con predominio de ambientes terrestres con humedales de pequeña extensión (Figura 10.1.1).

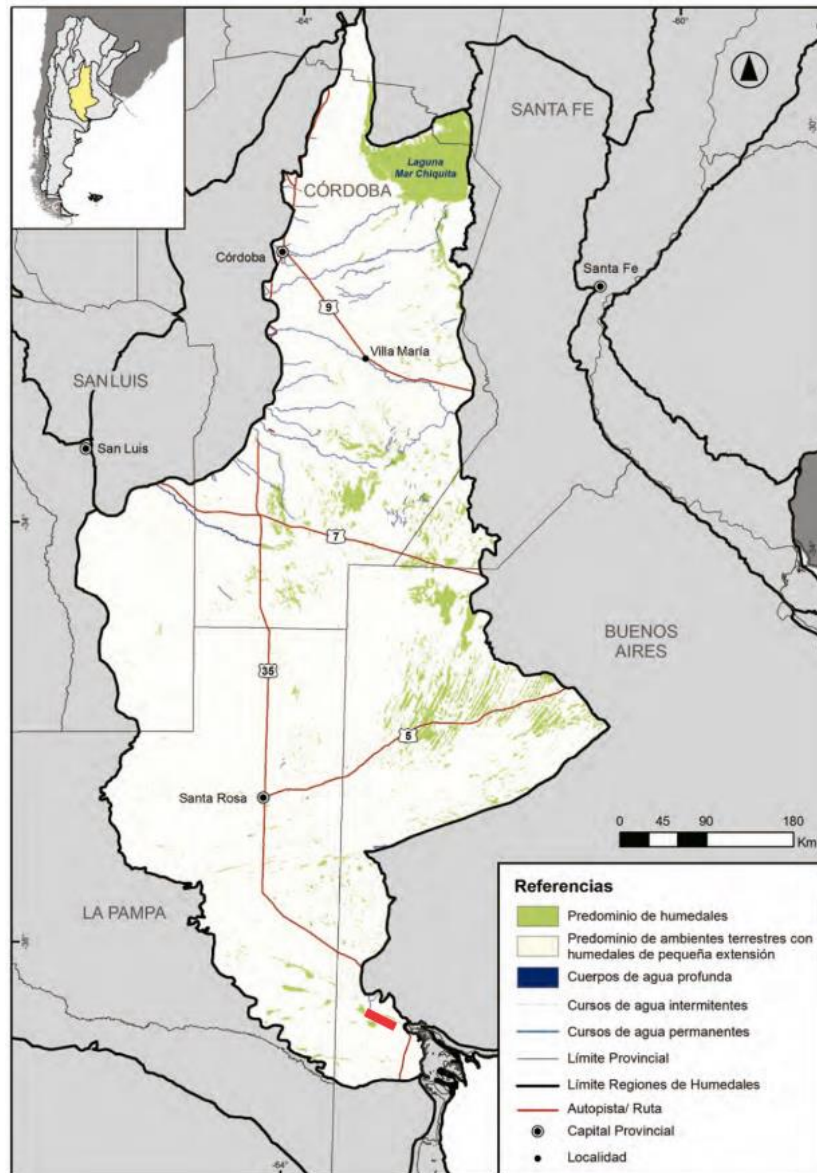


Figura 10.1.1. Subregión Lagunas Salobres de la Pampa Interior (Extraído de Blanco et al., 2017). El recuadro rojo en la parte inferior de la imagen indica el área de estudio.

Para su tipificación, se tienen en cuenta cuatro factores principales y dos complementarios (Plan Andaluz de Humedales, 2002; Manzano *et al.*, 2002). Como factores principales se tienen:

- Modo de alimentación (origen del agua): superficial, subterránea o mixto.
- Modo de vaciado: por escorrentía superficial, evaporación o infiltración.
- Hidroperíodo: frecuencia y permanencia de la inundación o saturación del suelo.
- Tasa de renovación del agua y sales: baja, media o alta.

Como factores complementarios, deseables de conocer, se plantean:

- Hidroquímica: Composición química del agua (pH, conductividad, tipo de agua, etc.)
- Hidrodinámica: Tipos de flujos dominantes.

La metodología propone mínimamente tipificar los humedales utilizando los cuatro factores principales. De ser posible (dependiendo de los datos disponibles) es ideal suplementar la clasificación con la utilización de los factores complementarios.

Humedales en áreas interduna de la zona de estudio

Estos cuerpos (comúnmente llamados también ojos de agua, pantanos o mallines) son de tamaño y distribución variables, tendiendo a concentrarse sobre el centro y borde E de la cadena (donde la capa freática tiene menor profundidad), y están fuertemente vinculados al agua subterránea.

El nivel freático tiende a copiar suavemente la topografía medanosa, generando flujos locales radiales de descarga en las áreas interduna (Figura 10.1.2), dando lugar a bajos inundados que conforman humedales ya sean temporales estacionarios o permanentes. El material fino subordinado a la arena se concentra por lavado en las partes más deprimidas del relieve, originando zonas de permeabilidad más baja que favorecen este fenómeno.

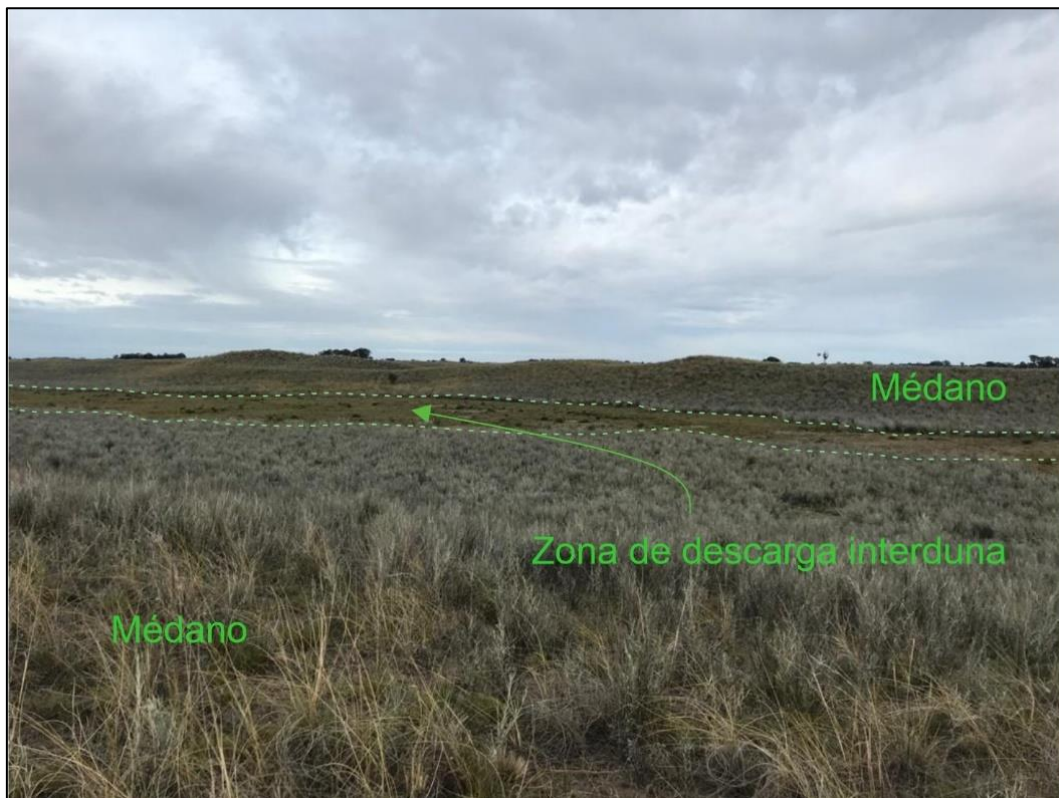


Figura 10.1.2. Zona de descarga en áreas interduna. Se puede observar a simple vista el cambio de vegetación producto de esta situación. En este caso el nivel freático no aflora, aunque podría llegar a hacerlo en épocas de mayor pluviometría.

La presencia de estos humedales depende de las oscilaciones del nivel freático, algunos se encuentran de manera permanente mientras que otros son temporales y estacionarios (Ruffo *et al.*, 2021). Durante períodos húmedos aumentan su tamaño debido a las mayores

precipitaciones y ascenso del nivel freático (que eventualmente puede llegar a superar al nivel topográfico), mientras que en períodos secos el mismo disminuye, llegando en ocasiones a secarse completamente. En muchos casos se observa la aparición de humedales temporales luego de fuertes tormentas que ocasionan el afloramiento del nivel freático en zonas bajas (Figura 10.1.3).



Figura 10.1.3. Humedales temporales generados por ascenso del nivel freático luego de un episodio de tormenta.

Su vaciado es debido a la evaporación directa del cuerpo de agua y evapotranspiración. A modo de ejemplo, en el caso del humedal de la Figura 10.1.4, en el año 2006 cuenta con un área de aproximadamente 15.550 m², que hacia 2014 queda reducida a unos 650 m², para posteriormente comenzar a aumentar nuevamente. Debido a la baja pluviometría de la zona, la tasa de renovación de estos cuerpos de agua se considera baja.

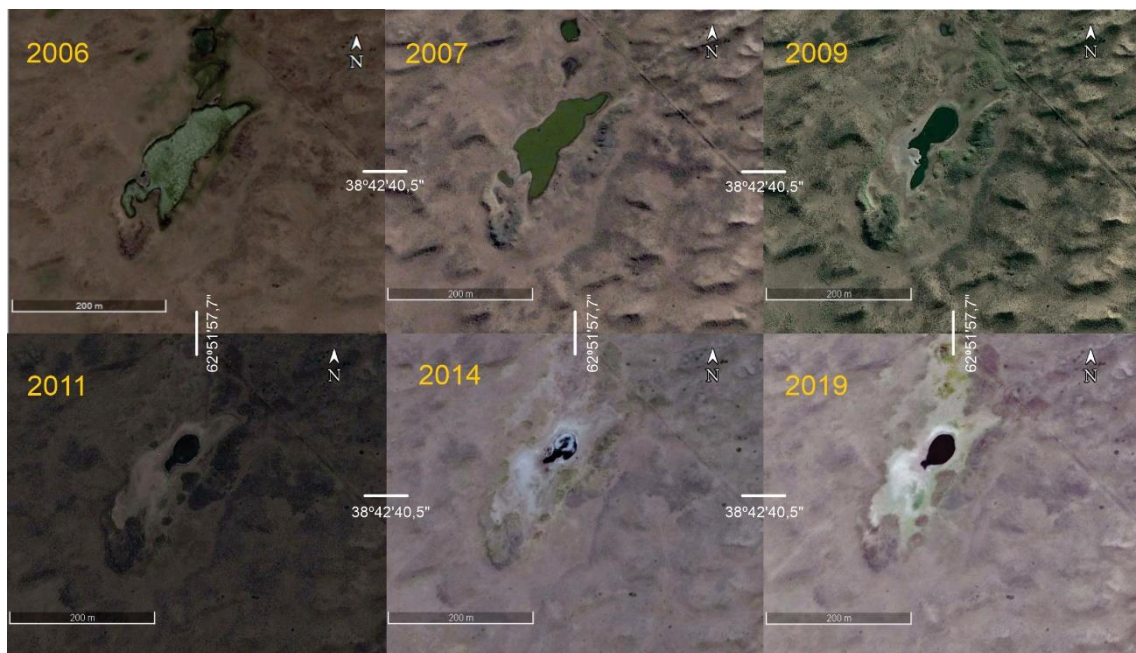


Figura 10.1.4. Variación de un humedal permanente en una zona interduna a lo largo del tiempo. Se puede observar una disminución, desde su tamaño máximo en 2006, hasta 2014, para luego volver a aumentar hacia el 2019.

Hidroquímicamente, el agua de estos cuerpos tiende a contener más sales que el agua del acuífero que los alimenta, debido a la evaporación que sufre la superficie libre de los mismos, aumentando en períodos secos y, contrariamente, disminuyendo durante períodos

húmedos, dando lugar a cierta variabilidad en este aspecto. En algunos casos llegan incluso formarse costras o halos salinos, producto de estas variaciones (Figura 10.1.5). La conductividad eléctrica del agua de estos cuerpos tiene un amplio rango, dependiendo de la estación (y precipitación y evaporación ligada a esta), los valores propios del agua subterránea en la zona considerada y la existencia de lluvias recientes que incorporen agua al humedal. Se llegaron a medir valores tan bajos como 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con máximos por encima de los 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, siendo estos últimos los más frecuentes debido a las condiciones de aridez de la zona, cuando el agua freática tiene valores que rondan los 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estos valores pueden verse aumentados durante períodos de sequía.



Figura 10.1.5. Costras salinas (indicadas en rojo) en ojos de agua de la zona de estudio productos de la evaporación de los mismos.

El pH del agua de estos humedales es levemente más elevado que el del agua freática que los alimenta, debido a su contacto con la atmósfera y los diferentes procesos que tienen lugar en el mismo, que tiende a alcalinizarla.

La situación hidrodinámica en estos casos es un predominio de flujos verticales desde las zonas más elevadas de los médanos aledaños, con flujos horizontales cortos subordinados, resultando en la descarga del agua subterránea hacia las zonas más bajas, por lo que estos cuerpos de agua resultan ganadores respecto al acuífero (Figura 10.1.6).

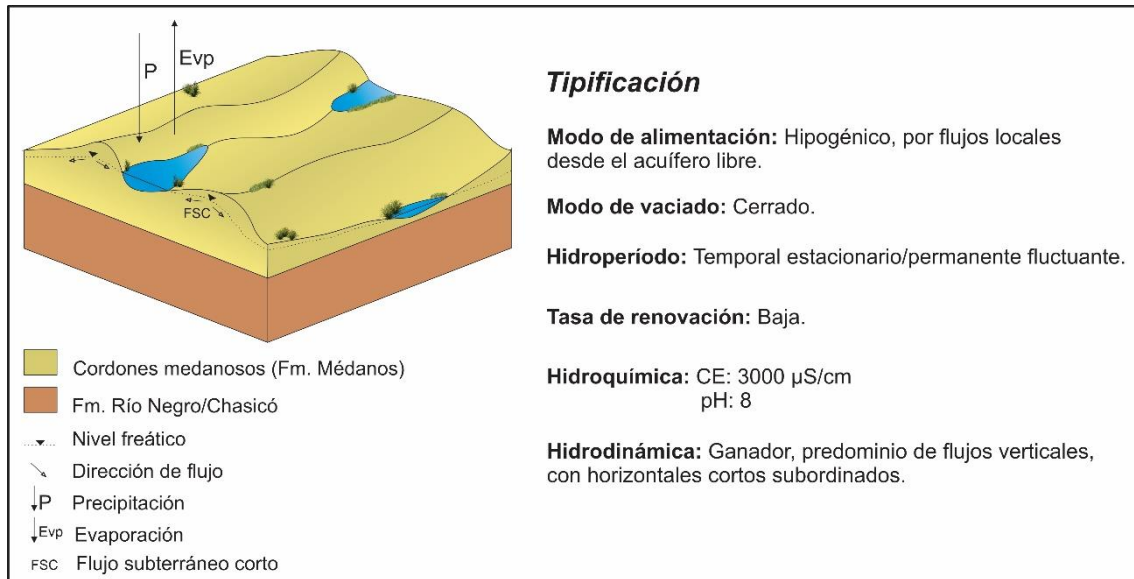


Figura 10.1.6. Modelo conceptual de funcionamiento de humedales de interduna y tipificación de los mismos.

Considerando todo lo expuesto, queda de manifiesto el estrecho vínculo entre los humedales y el agua subterránea en el área de estudio. De acuerdo a Kruse y Zimmermann (2002), esta conexión hidráulica entre el agua superficial y subterránea es una característica común en la llanura pampeana.

Si bien este tipo de cuerpos de agua en áreas interduna no tiene utilidad para fines turísticos, económicos o de recreación hasta el momento, no se puede desestimar su importancia como proveedores de servicios ecosistémicos y ambientes de rica biodiversidad, más aún si se tiene en cuenta que, por sus características intrínsecas, se trata de zonas de alta vulnerabilidad para el acuífero. De esta manera, deben ser considerados en las políticas de gestión y de ordenamiento territorial para su protección a la hora de llevar a cabo actividades en sus proximidades.

CAPÍTULO 11: MODELO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMIENTO Y BALANCE HÍDRICO

11.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta el modelo conceptual hidrogeológico de la cuenca que compone el cordón de dunas y el funcionamiento del acuífero freático contenido en el mismo (Figura 11.1.1).

En un balance hídrico, según el principio de conservación de masas, las entradas de agua a un sistema menos las salidas son iguales a la variación en el almacenamiento (ΔS), tomando ésta un valor positivo si este aumenta o negativo si disminuye. Esto queda expresado según la fórmula:

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = \pm \Delta S$$

Para períodos de tiempos extensos, la ecuación queda simplificada, ya que se asume que la variación en el almacenamiento toma valores cercanos a cero o neutralizada, pudiendo considerarse a fines del balance, despreciable, es decir, que para períodos largos de tiempo puede escribirse:

$$\text{Entradas} = \text{Salidas}$$

Para los términos de ingresos y salidas se utilizaron los valores promedios ya obtenidos en los capítulos correspondientes.

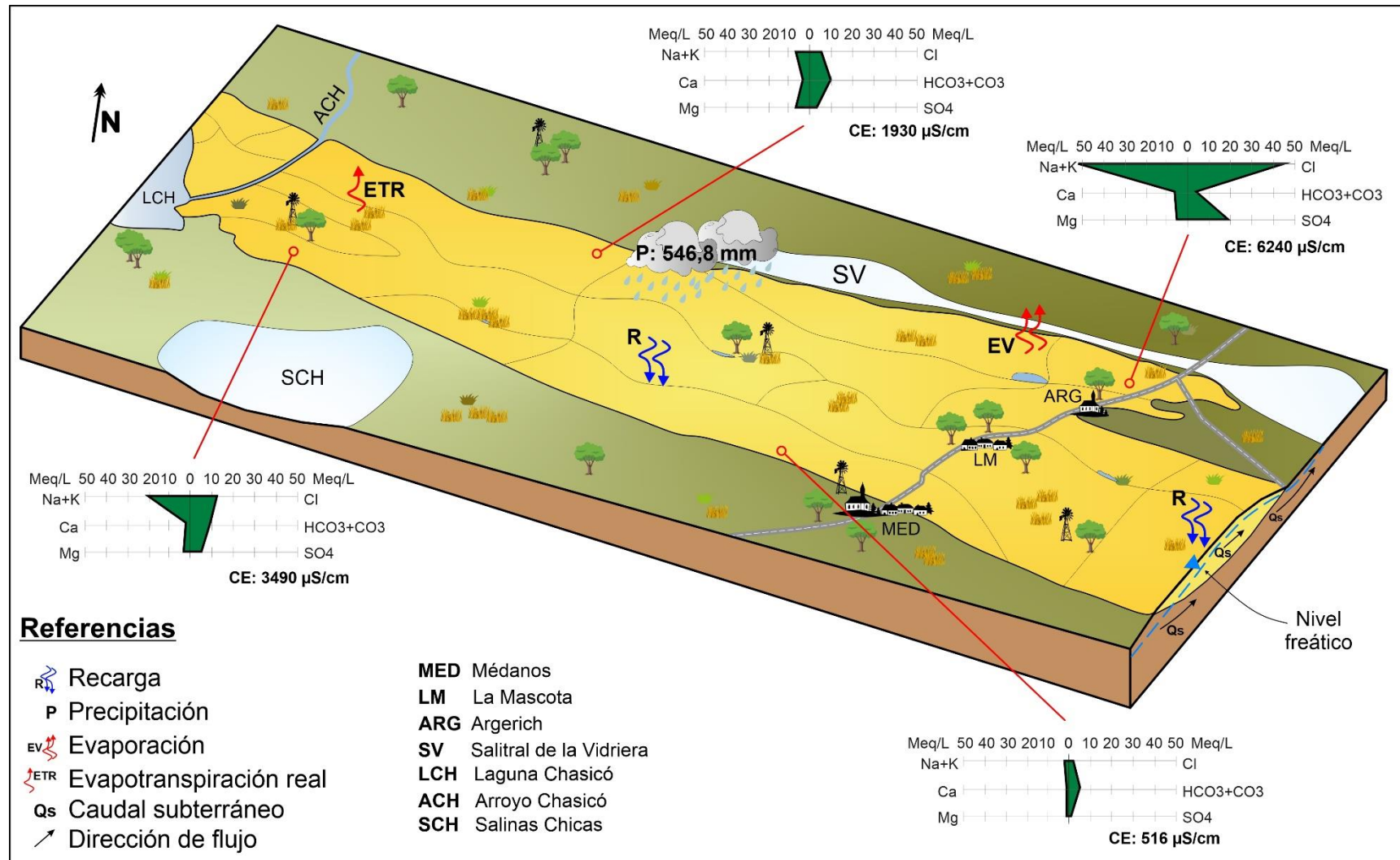


Figura 11.1.1. Block diagrama esquemático (sin escala) del modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico del área de estudio.

11.2 MODELO CONCEPTUAL Y BALANCE

Para los siguientes cálculos se considerará el cordón de dunas como una cuenca en sí misma. La elevada porosidad de los sedimentos arenosos y la rápida infiltración del agua de lluvia en los mismos, impiden la existencia de escurrimiento superficial, conformando de esa manera un sistema cerrado.

A su vez, la diferencia de salinidad entre el agua freática alojada en los médanos, con respecto a un sistema de flujo subterráneo más profundo y de más largo recorrido alojado en los sedimentos de las Formaciones Río Negro y Chasicó, provoca un efecto de estratificación hidroquímica (el cual ya fue explicado previamente), separando los dos sistemas. De esta manera, se genera una lente de agua dulce sobre una masa más salada y de mayor extensión. Es por ello que, a los fines de realizar los cálculos de balance hídrico, se asume que, para este sistema de flujo más profundo, el caudal que ingresa desde los alrededores de la cadena de dunas es igual al caudal saliente de la misma.

Análogamente, al analizar el mapa de isopiezas del acuífero freático, se observa que las mismas indican zonas de descarga subterránea (Q_{sub}) sobre ciertos sectores del borde de la cadena y hacia el Salitral de la Vidriera, Salinas Chicas y la laguna Sauce Grande. Se asume que el arroyo Chasicó no recibe descarga subterránea significativa.

Superficialmente, se considera la precipitación (P) como el único ingreso de agua al sistema (debido a la inexistencia de escurrimiento antes mencionada), mientras que la evapotranspiración real (ETR) es el principal egreso.

Adicionalmente, se tomaron en cuenta las pequeñas lagunas freáticas que conforman los humedales de interduna tratados en el Capítulo 10, los cuales sufren evaporación directa desde su superficie (EV_h), representando de esta manera un egreso adicional de agua del sistema. Para cuantificar la superficie ocupada por estos, y debido a su gran variabilidad espacial y temporal producto de la alternancia de estaciones secas/húmedas, se utilizaron imágenes satelitales del año 2002, debido a que la pluviometría registrada en el mismo es prácticamente coincidente con el módulo pluviométrico del área de estudio. De esta manera, se calculó que el área de estos cuerpos de agua es de alrededor de $0,17 \text{ km}^2$, es decir, que representan apenas el 0,05% del área de estudio considerada.

Por último, se tomó en cuenta, la extracción antrópica de agua, o sea el caudal bombeado estimado, de los campos de pozos existentes en el área considerada (Q_{cp}), si bien es un valor de poco impacto global.

Considerando todo lo anteriormente expuesto, la ecuación del balance hídrico de la cuenca puede expresarse como:

$$P = ETR + Q_{\text{sub}} + EV_h + Q_{\text{cp}}$$

Y considerando:

- Una precipitación de 546,8 mm/año, equivalentes a 251,5 Hm³/año (*crf.* Capítulo 3, sección 3.4.1),
- Una ETR de 383,3 mm/año (equivalente al 70% de las precipitaciones, tal como se desprende del balance de agua en el suelo de paso diario en el Capítulo 8, sección 8.1.1),
- Una evaporación de 1120 mm/año (medida en tanque tipo "A", *crf.* Capítulo 3, sección 3.4.5.1) y el área ocupada por los ojos de agua
- Un caudal total bombeado de los campos de pozos de 0,39 Hm³/año (calculado en el Capítulo 8, sección 8.4.1).

Se obtiene:

$$546,80 \text{ mm/año} = 383,30 \text{ mm/año} * 0,9995 + Q_{\text{sub}} + 1120 \text{ mm/año} * 0,0005 + 0,85 \text{ mm/año}$$

$$Q_{\text{sub}} = 162,30 \text{ mm/año}$$

De esta manera, por diferencia, se calcula un caudal subterráneo de 162,3 mm/año, o lo que es lo mismo, 74,65 Hm³/año. De esta ecuación se desprende además que la cantidad de agua evaporada de los humedales es de apenas 0,56 mm/año (0,25 Hm³/año), un volumen que, como era de esperarse, debido al escasa área ocupada por estos cuerpos de agua, tiene muy poca relevancia en el balance de la cuenca.

Ya habiendo obtenido el valor de Q_{sub} , se puede realizar un balance de agua del acuífero freático, donde la única entrada de agua al sistema la constituye la recarga (R) procedente de los excesos hídricos de las precipitaciones, mientras que los egresos son el caudal subterráneo ya mencionado y, debido al afloramiento del nivel freático en zonas de humedales, la evaporación directa desde estos cuerpos de agua (EV_h).

Teniendo en cuenta todo lo anteriormente expuesto, la ecuación del balance para el acuífero freático queda expresada como:

$$R = Q_{\text{sub}} + EV_h$$

Utilizando los datos ya calculados previamente, se obtiene:

$$R = 162,30 \text{ mm/año} + 0,56 \text{ mm/año}$$

$$R = 162,86 \text{ mm/año}$$

El valor calculado de recarga es de 162,86 mm/año, o lo que es lo mismo, 74,92 Hm³/año, lo cual representa un 29,78 % de las precipitaciones medias. Este valor es consistente con los resultados obtenidos mediante diversas metodologías de estimación aplicadas en el Capítulo 8, sección 8.1, dejando en evidencia la congruencia del modelo de funcionamiento que aquí se plantea, donde básicamente la recarga iguala al caudal subterráneo de salida, por lo que el sistema se encontraría en equilibrio considerando períodos de tiempo largos.

CAPÍTULO 12: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

12.1 CONCLUSIONES

Los estudios llevados a cabo permitieron la caracterización del sistema acuífero en la zona de estudio. El mismo se enmarca dentro de la Región Hidrogeológica de la Cuenca de Bahía Blanca, y se encuentra condicionado tanto por la geología y geomorfología como por el clima del sector, determinando así sus características intrínsecas. Con miras a comprender dicho sistema acuífero, este puede simplificarse en dos grandes unidades:

- **Arenas eólicas (Holoceno):** comprenden un manto de arenas que pueden superar los 15 metros de potencia. Tienen una granulometría fina a media y componen la zona no saturada y el acuífero freático del sector, con aguas en general con un bajo contenido en sales. Estos sedimentos poseen una fracción pelítica subordinada (entre 2 y 4 % de limo y 2 a 3 % de arcilla) y están compuestos principalmente por plagioclasas, microclino, cuarzo, vidrio volcánico, piroxeno, epidoto, y magnetita titanífera.
- **Fm. Río Negro (Mioceno) y Fm. Chasicó (Plioceno):** se ubican por debajo del manto de arenas eólicas y aflorando o subaflorando en la llanura circundante y depresiones. Se trata de areniscas medias a finas y limos arcillosos y arenosos con intercalaciones de arena y niveles calcáreos. Contienen acuíferos con aguas de mediana a alta mineralización (generalmente con tenores altos de F^- y As), que se encuentran conectados hidráulicamente al acuífero contenido en el cordón de arenas eólicas.

Debido al contraste resistivo existente entre los materiales que componen la columna estratigráfica del área de estudio y las variaciones de salinidad en profundidad, la prospección geoelectrica mediante tomografías de resistividad eléctrica resulta una herramienta efectiva para la exploración del agua subterránea y la determinación de espesores saturados de interés en la zona. La parametrización del método permite definir intervalos de resistividades correlacionables con las características hidrogeológicas de la cadena de médanos. La geometría del acuífero freático, determinada principalmente mediante geoelectrica, es de un espesor relativamente homogéneo a lo largo y ancho de la cadena de médanos, manteniéndose en general entre los 3 y los 5 m. Los mayores espesores tienden a observarse en la parte central del cordón de dunas, disminuyendo levemente hacia los bordes del mismo. Sin embargo, sobre el sector central del cordón de dunas y en el flanco noreste de la cadena, se encontraron indicios de estructuras asimilables a paleocanales, donde el espesor saturado con agua dulce aumenta puntualmente de forma considerable, llegando a superar los 30 m.

La porosidad eficaz estimada para el cordón de dunas es de 0,20 (coincidente con el valor de porosidad de la arena fina según la bibliografía hidrogeológica en general). Los valores de

permeabilidad, obtenidos mediante la aplicación de la ecuación de Hazen, en curvas granulométricas de muestras de arena del área de estudio, arrojaron un promedio de 17 m/d. La transmisividad (T) del acuífero freático se calculó entre 32,5 y 115 m²/d, con un promedio de 77 m²/d.

La morfología freática se encuentra íntimamente relacionada con la topografía del sector. La superficie piezométrica tiende a copiar suavemente el relieve del terreno. El flujo proveniente de la llanura circundante a la cadena de dunas, provoca que el agua más salina de estas se encuentre con la del acuífero freático contenido en el cordón medanoso, generando una zona de mezcla, de tal manera que se generaría una lente de agua dulce superficial que descansa sobre una capa de mayor salinidad, proveniente del flujo regional más profundo y de más largo recorrido. Dentro del manto arenoso, se pueden identificar dos sistemas de flujo superpuestos: uno somero, de tipo local, con recorridos radiales cortos que descargan en áreas interduna, y otro de mayor profundidad, de carácter regional y recorridos más extensos. El gradiente hidráulico promedio se encuentra en torno al 3 ‰, con un máximo de 13 ‰ y un mínimo de 1,5 ‰. Los mayores valores corresponden a la porción oeste de la cadena medanosa, producto de una mayor topografía en dicho sector. La velocidad efectiva del agua subterránea tiene un promedio de 0,26 m/d, con un máximo de 1,1 m/d y un mínimo de 0,12 m/d.

La Laguna Chasicó, las Salinas Chicas y el Salitral de la Vidriera, actúan como áreas de descarga del acuífero freático. Los mayores niveles piezométricos se ubican en la porción sudeste del cordón de dunas, mientras que las cotas piezométricas más bajas se ubican en la porción noroeste.

El espesor de la zona no saturada varía generalmente entre los 2,5 y los 12 m. Los mayores espesores se registran en la porción sudeste de la cadena, coincidente con las mayores cotas topográficas, y en los alrededores de la localidad de Médanos. Los menores espesores de la zona de aireación se ubican mayormente en el sector noroeste de la cadena. En un 90% del área considerada, el mismo no supera los 8 m.

En los sectores interduna donde el nivel freático se encuentra somero, es frecuente el ascenso del mismo durante estaciones húmedas, generando lagunas freáticas o humedales de gran importancia ecológica, proporcionando servicios ecosistémicos indispensables a la flora y fauna del lugar.

Las variaciones del nivel freático, registradas durante un período de estudio de un año, presentan una tendencia general decreciente, con una variación de -0,46 m en el período considerado, mientras que la oscilación máxima registrada fue de 0,80 m. Los niveles piezométricos más elevados se observaron en aquellos meses que la evapotranspiración es menor, entre los meses de abril y septiembre. Los eventos de precipitación no mostraron una clara correlación con ascensos puntuales del nivel freático, sino más bien la amortiguación del descenso general antes mencionado.

En lo que respecta a la hidroquímica, el agua subterránea muestra un claro contraste entre las zonas de recarga y de descarga, si bien en general presenta una baja salinidad. La conductividad

eléctrica promedio se ubica en torno a los 1890 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con mínimos de 385 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y máximos de 9090 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (relacionados a zonas de recarga y de descarga, respectivamente). Su composición es mayoritariamente bicarbonatada/clorurada-sódica, con el ión sodio prevaleciendo por sobre el resto de los cationes debido probablemente a la fuerte evapotranspiración en la zona.

Si bien la composición química del agua subterránea puede entenderse como una evolución química desde aguas de zona de recarga a zonas de descarga (de mayor tenor salino y mineralización), no se observó una marcada diferenciación de los términos medios entre estas. Esto se explicaría teniendo en cuenta el poco tiempo de contacto agua-roca (debido a las características hidrodinámicas del acuífero) y a la baja reactividad del sedimento arenoso.

Los tenores de flúor y arsénico constituyen una problemática recurrente en la zona, debido a la limitante que ejerce sobre la potabilidad y uso del recurso. Si bien presentan una distribución irregular, ambos tendrían un origen común en el agua subterránea, proveniente principalmente de la meteorización de material de origen volcánico presente en los sedimentos de la Fm. Chasicó. Las mayores concentraciones de estos elementos se detectan en los sectores de llanura de los alrededores de la cadena de médanos. De esta manera, los pozos dentro del cordón medanoso con altos niveles de F y As estarían asociados a escenarios donde la perforación atraviesa las arenas de la cadena de dunas y capta aguas, al menos en parte, contenidas en las unidades que se encuentra debajo de las mismas y en los alrededores en la llanura circundante.

Dentro del sistema acuífero se da un fenómeno de estratificación hidroquímica, donde una lente de baja salinidad descansa sobre una más salobre y extensa, donde el mayor espesor de agua dulce se ubicaría en el centro de la cadena medanosa, disminuyendo lateralmente. La profundidad de la zona en donde se da el cambio en la salinidad del agua coincide, a grandes rasgos, con el techo de un paquete de pelitas rojizas asignables a la Fm. Chasicó, que se ubica, en general, entre los 8 y los 14 metros bajo el nivel del terreno, con su mayor profundidad registrada a los 18 metros m.b.n.t.

La aptitud para consumo humano del agua subterránea del acuífero freático es fuertemente dependiente de la zona dentro del área de estudio, siendo, lógicamente, las aguas de zonas de recarga las de mejor aptitud química y en general aptas para consumo humano según el Código Alimentario Argentino. Debido a que los valores en varios de los elementos analizados restringen el uso del agua del acuífero para consumo, debe tenerse en cuenta la posibilidad de aplicar diferentes tratamientos de remoción de iones de la misma para llevarla a límites admisibles.

Las reservas hídricas subterráneas (RHS), calculadas teniendo en cuenta los espesores saturados determinados mediante métodos geofísicos, tienen un valor de 344 Hm^3 . Si bien, en relación a la superficie considerada, el volumen de reservas calculado no resulta elevado, el área se encuentra escasamente poblada (apenas unos 5400 habitantes, con 5245 concentrados en la localidad de

Médanos). Debe considerarse que el uso de las reservas debe llevarse a cabo ante una situación excepcional en los casos donde la demanda supere el recurso hídrico potencial.

La recarga del acuífero freático en el área de estudio es producto de los excesos hídricos como resultado de las precipitaciones. La misma fue calculada mediante diferentes metodologías a fines de contrastar y comparar los diferentes resultados obtenidos. Este valor oscila en promedio entre el 8 y el 34% de las lluvias. Los cálculos realizados mediante el balance de agua de paso diario, a partir de una serie de precipitación de 34 años, arrojan una recarga promedio de alrededor del 30% de la precipitación media anual (546,8 mm/año), es decir, unos 164 mm/año. Este valor se considera como el más representativo debido a la amplitud temporal de los datos utilizados. A su vez, el mismo es respaldado por el resultado del balance de agua a nivel acuífero realizado en el Capítulo 11. De esta manera, el recurso hídrico potencial (RHP) para el área estudiada es de 75,44 Hm³/año, lo cual representa el 21,93 % de las reservas antes mencionadas.

Si se plantea únicamente la explotación del 40% del RHP, para asegurar la preservación del equilibrio natural del sistema y obtener una explotación racional y sustentable a lo largo del tiempo, el volumen del recurso disponible es de 30,18 Hm³/año (8,77 % de las reservas).

La demanda antrópica de agua para las localidades en el área de estudio, de acuerdo a datos suministrados por la prestataria de agua local, es de unos 0,7 Hm³/año, lo cual representa el 0,2 % de las reservas y el 0,93 % del recurso hídrico potencial de la zona de estudio.

La provisión de agua en la localidad de Argerich la lleva a cabo el Municipio mediante perforaciones al acuífero hidrotermal profundo de Bahía Blanca (SHP). Igualmente, muchas propiedades cuentan con captaciones particulares al acuífero freático, situación que se da también en La Mascota. En la ciudad de Médanos, la explotación del agua subterránea es llevada a cabo en por la empresa Aguas Bonaerenses S.A., y el abastecimiento se efectúa mediante tres campos de bombeo (Campo Las Escobas, Campo La Morocha y Campo La Mascota). Estos tres campos tienen una capacidad de producción de alrededor de 45 m³/h (unos 15 m³/h cada uno). El agua extraída es en general de buena calidad, exceptuando la de las perforaciones del Campo La Morocha, la cual cuenta con altos tenores de F y As y es tratada en una planta de ósmosis inversa en Médanos. Las perforaciones del Campo La Mascota son las que mejor rendimiento presentan en cuanto a caudales extraídos se refiere, ya que cuenta únicamente con cuatro perforaciones.

Debido a las características hidráulicas, geológicas, geomorfológicas, la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación (calculada mediante dos metodologías distintas) resulta entre media y alta, vinculada directamente a la profundidad al nivel freático, ya que las características geológicas/litológicas son relativamente homogéneas en toda la cadena de dunas.

Teniendo en cuenta las conclusiones aquí expuestas, queda de manifiesto que el acuífero freático contenido en el cordón de dunas constituye un recurso estratégico para la zona y las poblaciones del sector. Si bien el clima es árido/semiárido, las lluvias escasas y el espesor de interés del acuífero es reducido, la problemática del sector parece estar más vinculada a la incorrecta ubicación y profundidad de las captaciones y a las características constructivas de estas. Considerando que la demanda de agua es baja, teniendo en cuenta el escaso número de habitantes del sector, en teoría podría satisfacerse ampliamente con el recurso hídrico disponible.

12.2 RECOMENDACIONES

Basándose en los datos expuestos, los resultados obtenidos y las conclusiones alcanzadas a lo largo de esta tesis doctoral, se recomienda lo siguiente:

- La exploración hidrogeológica mediante tomografías de resistividad eléctrica, si bien resulta más costosa y de mayor complejidad que la realización de sondeos eléctricos verticales, permitió la detección de estructuras asimilables a paleocauces, de escasa expresión areal. Estas fueron identificadas únicamente en el sector de La Mascota. El reconocimiento de estas estructuras sería mucho más complejo en caso de realizarse la exploración mediante un método más convencional (aunque también más económico) como lo son los SEVs.
- Se debería estudiar cuidadosamente la posibilidad de la construcción de un nuevo campo de bombeo en un sector idóneo (determinado mediante estudios geofísicos) donde el espesor saturado de agua dulce sea el más adecuado de acuerdo a las necesidades de explotación. Los sectores con paleocauces son de especial interés, debido al importante aumento del espesor saturado en dichas áreas.
- Se recomienda en todos los casos, que las profundidades de los pozos no excedan la alcanzada por el paquete arenoso, con miras a extraer aguas de buena calidad físico-química y evitar a su vez, dentro de lo posible, los altos costos asociados al tratamiento de ósmosis inversa que se lleva a cabo actualmente.
- Cabe destacar que, debido al escaso espesor de la capa acuífera de interés en la mayor parte del área de estudio, la utilización de perforaciones convencionales puede no resultar conveniente, debido al pronunciado abatimiento del nivel freático que generarían. De esta manera, para una explotación sostenida en el tiempo, se sugiere tener en cuenta otros métodos constructivos, como lo son las galerías filtrantes o los pozos con drenes horizontales (tipo Ranney o Well Point), los cuales producen un menor descenso en los niveles y son más

eficientes que los métodos de extracción convencionales en acuíferos de bajo espesor, como es el caso estudiado.

BIBLIOGRAFÍA

ABSA, 2019. Cuidemos el agua, ABSA cambia para vos. Folleto Online en: https://www.aguasbonaerenses.com.ar/recursos/articulos_archivos/528_1923.pdf

Albouy, R., 2005. Estudio hidrogeológico expeditivo en proximidades de la localidad de Argerich, provincia de Buenos Aires. Informe FUNSA, 7 pp. (Inédito).

Albouy, R., Carrica, J., Bonorino, A.G y Lexow, C., 2003. Estudio hidrogeológico de las Salinas Chicas, Médanos, Villarino. UNS, Bahía Blanca. 15 pp. Inédito.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. y Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration (Guidelines for computing crop water requirements). FAO Irrigation and Drainage. N° 56, 300 pp.

Aller, L., Bennet, T., Lehr, J., Petty, R. y Hackett, G., 1987. DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. U.S. EPA /600/2-87-036: 1-455. Oklahoma.

Allison, G. B., Gee, G. W. y Tyler, S. W., 1994. Vadose zone techniques for estimating groundwater recharge in arid and semi-arid regions. Jour. Soil Sci., Soc. Am., 58:6-14.

Almorox, J., Elisei, V., Aguirre, M. E. y Commegna, M., 2012. Calibración del modelo de Hargreaves para la estimación de la evapotranspiración de referencia en Coronel Dorrego, Argentina. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 44(1): 101-109.

Andreis, R., 1965. Petrografía y Paleocorrientes de la Formación Río Negro. UNLP. La Plata.

APHA (American Public Health Association) y AWWA-WPCF (Water Pollution Control Federation-American Water Works Association), 1989. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater (17th edition). Ed.: Díaz de Santos S.A. (1992).

Appelo, C. A. J. y Postma, D., 2004. Geochemistry, groundwater and pollution. 2nd Ed. Boca Raton: CRC Press.

Asensio, A. y Sartor, M., 2003. Características morfológicas y físico-químicas de suelos bajo distintos ambientes del partido de Villarino. Trabajo final, Técnico Superior Agrario en Suelos y Aguas, Depto. De Agronomía, Universidad Nacional del Sur.

Auge, M., 2004. Regiones hidrogeológicas. República Argentina y provincias de Buenos Aires, Mendoza y Santa Fe. UBA. 104 pp. Inédito. Disponible en: <http://www.gl.fcen.uba.ar>.

Auge, M., 2007. Vulnerabilidad de acuíferos. Serie Contribuciones Técnicas Ordenamiento Territorial N° 7. SEGEMAR. Dirección de Geología Ambiental y Aplicada. 40 pp.

Auge, M., 2009. Arsénico en el agua subterránea. Fed. Méd. de la Prov. De Buenos Aires. Inéd. 1:15. La Plata.

Bastianelli, N., Albouy, R., Carrica, J., Ruffo, A., Cano, M., Giorgi, J. M., 2018. Humedales vinculados al acuífero freático que abastece a la ciudad de Zapala, Provincia de Neuquén, Argentina. Seminario de Humedales vinculados al Agua Subterránea. XIV Congreso Latinoamericano de Hidrogeología, X Congreso Argentino de Hidrogeología y VII Seminario Hispano-Latinoamericano Sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Salta, Argentina.

Blanco, D., Bo, R., Benzaquén, L., Kandus, P., Lingua, G., Minotti, P. y Quintana, R. (Eds.), 2017. Regiones de humedales de la Argentina. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Fundación Humedales/Wetlands International. Universidad Nacional de San Martín y Universidad de Buenos Aires. Libro digital. 337 pp.

Bocanegra, E., Cardoso Da Silva, G., Custodio, E., Manzano, M. y Montenegro, S., 2010. State of knowledge of coastal aquifer management in South America. Hydrogeology Journal, 18: 261–267.

Bonorino, A. G., 1974. Contribución al conocimiento de las aguas subterráneas de la zona de Médanos, partido de Villarino (Provincia de Buenos Aires). C.I.C. de la provincia de Buenos Aires. La Plata. (Inédito).

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.

Bonorino A. G., 1988. Geohidrología del sistema hidrotermal profundo de la región de Bahía Blanca. 288 pp. Tesis Doctoral en Geología. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca (inédita).

Bonorino A. G., 1994. Geohidroquímica de la lluvia en la región del suroeste bonaerense. Asociación Geológica Argentina. Revista 49 (1-2): 93-98.

Bonorino, A. G. y Álvarez G., 1983. Comportamiento y caracterización hidráulica del acuífero superficial en la Colonia San Adolfo, Pdo. de Villarino, Prov. de Buenos Aires. Rev. Asoc. Geológica Arg. Vol. XXXVIII (2): 175-184.

Bonorino, A. G. y Torrente, R., 1992. Balance iónico aplicado al cálculo de la infiltración eficaz en áreas de relieve medanoso. III Jornadas Geol. Bonaerenses. Actas: 189-194

Bonorino, A. G., Ruggiero, E. y Mariño, E., 1989a. Caracterización hidrogeológica de la cuenca del arroyo Chasicó. Provincia de Buenos Aires. Comisión de Investigaciones Científicas 44, pp. 1–39.

Bonorino, A. G., Torrente, R. H. y Ruggiero, E., 1989b. Dinámica freática en áreas de relieve medanoso. Seminario Internacional Hidrología de Grandes Llanuras, UNESCO-CONAPHI. Buenos Aires, 1989. HILL- II/38/TRA. pp 18.

Bonorino, A. G., Albouy R. y Limbozzi, F., 2003. Origen y geoquímica del Flúor en el acuífero de la vertiente suroccidental de las Sierras Australes. Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas; Geoacta; 28; 12-2003; 17-25.

Burek, P., Satoh, Y., Fischer, G., Kahil, M. T., Scherzer, A., Tramberend, S. Nava, L. F., Wada, Y., Eisner, S., Flörke, M., Hanasaki, N., Magnuszewski, P., Cosgrove, B. y Wilberg, D., 2016. Water futures and solution: Fast track initiative (final report). IIASA working paper. Laxenburg, Austria, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA).

Burgos, J. y Vidal, A., 1951. Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thornthwaite. Revista Meteoros, Año 1 N°1. Pp. 3-33.

Cabrera, A., 1951. Territorios fitogeográficos de la República Argentina. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica. Volumen IV, N° 1 - 2. Argentina.

Cáceres, V., 2010. Reflexiones sobre el rol del estado en la provisión del agua potable en la Provincia de Buenos Aires. IV Congreso Internacional de Economía y Derechos Humanos, Universidad de Madres, Buenos Aires.

Caminos, R. (Ed.), 1999. Geología Argentina. Subsecretaría de Minería de la Nación, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 29 (1999), 796 pp. Buenos Aires.

Campo de Ferreras, A., Capelli de Steffens, A. y Diez, P., 2004. El clima del Suroeste bonaerense; Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. 105 pp.

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., 1998. Hidrogeología de la cuenca del arroyo Napostá Grande, provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral en Geología. Biblioteca Central de la Universidad Nacional del Sur. Inédita.

Carrica, J., Hernández M. y Mariño E. (Eds), 2009. Recarga de Acuíferos. Aspectos generales y particularidades en regiones áridas. AIH-Fac. Exactas y Naturales UNLPam. ISBN 978-987-1082-39-1. 87 pp. Ed. Amerindia. Santa Rosa, La Pampa.

Carrica J. C., Lexow, C. y Bonorino, A. G., 2012. La recarga a través de cordones medanosos en zonas semiáridas. Estudio de caso: Médanos, Prov. de Buenos Aires, Argentina. En: "Agua Subterránea: Manantial de vida para aprovechar y proteger" Ed. ALHSUD. XI Congreso latinoamericano de Hidrogeología. Cartagena de Indias, Colombia. Memorias en 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: García, R., Castro, E., Dornes, P., Kruse, E., Moya Ruiz, F. y García, J. W. (Eds). El Agua Subterránea: Recurso sin Fronteras: Interacción Agua Superficial Agua Subterránea. Salta, 2018. ISBN 978-987-633-536-2. Pags: 99-106.

Castany, G., 1963. *Traité pratique des eaux souterraines*. Dunod, París.

Cedergren, H. R., 1967. *Seepage, drainage and flow nets*. Ed. John Wiley and Sons. New York.

Chebli, G. A., Mozetic, M. E., Rossello, E. A. y Buhler, M., 1999. Cuencas sedimentarias de la Llanura Chacopampeana, En: Caminos, R. (ed.), *Geología Argentina*. Anales 29: Argentina, SEGEMAR, 627- 644.

Código Alimentario Argentino, 1969. Ley 18.284, Capítulo XII: "Bebidas hídricas, agua y agua gasificada", artículo 982 (actualizado en 2023). 60 pp. Ministerio de Salud y Acción Social, Argentina. Recuperado de:

https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/caa_capitulo_xii_aguas_actualiz_2019-11.pdf.

CFI (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.

Custodio, E., 1997a. Explotación racional de las aguas subterráneas. I Congreso Nacional de Hidrogeología. Actas: 1-34. Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires, Argentina.

Custodio, E., 1997b. Evaluación de la recarga por la lluvia mediante métodos ambientales químicos, isotópicos y térmicos. En: *La evaluación de la recarga a los acuíferos en la planificación hidrológica*.

Custodio, E., Llamas, M. y Samper, J. (Eds). Palmas de Gran Canaria, España. AIH Grupo Español, pp 83 – 109.

Custodio, E., 2018. Humedales vinculados al agua subterránea: una visión hidrogeológica. Seminario de Humedales vinculados al Agua Subterránea. XIV Congreso Latinoamericano de Hidrogeología, X Congreso Argentino de Hidrogeología y VII Seminario Hispano–Latinoamericano Sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Salta, Argentina.

Custodio, E., y Llamas, M. R., 1983. Hidrología Subterránea (2° Ed.). Tomo II, Ed. Omega, Barcelona. 2350 pp.

De Francesco, F. O., 1992a. Formación del Águila: Depósitos pedemontanos en el sector occidental de Sierras Australes. Provincia de Buenos Aires. III Jornadas Geológicas Bonaerenses. Actas: 13-17. La Plata.

De Francesco, F. O., 1992b. Estratigrafía del cenozoico en el flanco occidental de las sierras de Curamalal. Sierras Australes Bonaerenses. III Jorn. Geológicas Bonaerenses. Actas: 3-12. La Plata.

De Salvo, O., Ceci, J. y Dillon, A., 1969. Caracteres geológicos de los depósitos eólicos del Pleistoceno superior de Junín (Provincia de Buenos Aires). Actas. Cuartas Jornadas Geológicas Argentinas 1: 269-292.

DIPAC. Ministerio de infraestructura y servicios públicos, 2017. Estudio de impacto ambiental. Proyecto acueducto Pedro Luro-Bahía Blanca. UNS. 633 pp. Bahía Blanca, Argentina.

Dumrauf, M., 2008. Evolución de la frontera agrícola en los Partidos de Villarino y Patagones, período 1975-2005 y su implicancia en el deterioro ambiental. Informe de tesis de Licenciatura en Geografía. Departamento de Geografía y Turismo, UNS. Bahía Blanca, Argentina.

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).

Di Martino, C., 2014. Sustentabilidad del recurso hídrico subterráneo en Monte Hermoso, provincia de Buenos Aires, República Argentina. UTN-FRBB. Tesis de Magister. Recuperado de: http://www.edutecne.utn.edu.ar/tesis/tesis_Di_Martino_FRBB.pdf

Di Martino, C., Albouy, R., Cifuentes, O. y Marcos, A., 2014. El acuífero costero de Monte Hermoso. Generalidades. Recurso y Reserva. ASAGAI N° 33. Pp 43-50. Buenos Aires, Argentina.

Dornes, P. y Schulz, C., 2001. Determinación de la recarga en la región de La Pampa central Argentina. En: Medina, A., Carrera, J. y Vives, L. (Eds.). Las caras del agua subterránea. Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas, 1 (I): 614-622. Instituto Tecnológico Geominero. Madrid, España.

Edison Consult, 1967. Estudio técnico económico y social Valle Bonaerense Río Colorado. Primera fase. Tomo I. Meteorología, climatología y Agrometeorología.

Eriksson, E. y Khunakasem, V., 1969. Chloride concentrations in groundwater, recharge rate and rate of deposition of chloride in the Israel coastal plain. Journal of Hydrology 7: 178-197.

Etchevehere, P., 1961. Bosquejo de regiones geomorfológicas y de drenaje de la República Argentina. Rev. IDIA 1961 p. 7 - 26.

Falkland, A. y Custodio, E., 1991. Hydrology and Water Resources of Small Islands: a Practical Guide. Studies and Reports on Hydrology (49). UNESCO. París, Francia.

FAO, 2008. FAO Water. Databases: Cropwat Decision Support System. Recuperado de: http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html. 22-11-2008.

Farías, S., Fernández-Turiel, J. L. y Gimeno, D., 2009. Arsénico en aguas superficiales y subterráneas del partido de Villarino, Provincia de Buenos Aires, Argentina. En: IV Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de Hidrología Subterránea. VI Congreso Argentino de Hidrogeología. Santa Rosa.

FCIHS, 2009. Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea. Hidrogeología. Comisión Docente Curso Internacional de Hidrología Subterránea, Editor. Artes Gráficas Torres, S.L. Barcelona, España. 768 pp.

Fernández-Turiel, J. L., Galindo, G., Parada, M. A., Gimeno, D., García-Valles, M., Saavedra, J., 2005. Estado actual del conocimiento sobre el arsénico en el agua de Argentina y Chile: origen, movilidad y tratamiento. Workshop Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento, Río Cuarto, Argentina. Actas, pp 1-22.

Fidalgo, F., 1983. Geología y geomorfología del área White-Cerri y los alrededores de Bahía Blanca. Comisión Estudio Suelos White-Cerri. MOP de la provincia de Bs. As. Informe Final (inédito). La Plata.

Fidalgo, F., 1999. El Cuaternario de la provincia de Buenos Aires. En: Caminos, R. (Ed): Geología Argentina, SEGEMAR, Anales 29: 700- 703, Buenos Aires.

Fidalgo, F., De Francesco, F.O. y Pascual, R., 1975. Geología superficial de la llanura bonaerense. En: Geología de la Provincia de Buenos Aires. 6° Congreso Geológico Argentino (Buenos Aires), Relatorio: 103-138 pp.

Fidalgo, F., Laza, J., Porro, N. y Tonni, E., 1978. Algunas características de la Formación Arroyo Chasicó y sus relaciones geológicas. 7° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 213-225, Neuquén.

Fidalgo, F., Tonni, E., Porro, N. y Laza, J., 1987. Geología del área de la Laguna Chasicó (Partido de Villarino, Provincia de Buenos Aires) y aspectos bioestratigráficos relacionados. Asociación Geológica Argentina. Revista 42 (3-4): 407-416.

Florentino, C. E., Paoloni, J. D., Sequeira, M. E. y Arosteguy, P., 2007. The presence of vanadium in groundwater of southeastern extreme the pampean region Argentina relationship with other chemical elements. Journal of Contaminant Hydrology, 93(1-4), 122-129.

Folguera, A., Etcheverría, M. P., Zárate, M.A. y Escosteguy, L., 2017. Hoja Geológica 3963-II Bahía Blanca. Provincia de Buenos Aires. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 425, 96pp., Buenos Aires.

Folguera, A. y Zárate, M. A., 2009. La sedimentación neógena continental en el sector extrandino de Argentina central. Rev Asoc Geol Argentina 64: 692–712

Forte Lay, J. A. y Burgos, J. J., 1983. Verificación de los métodos de estimación de la variación de almacenaje en los suelos pampeanos. Taller argentino-estadounidense sobre sequías. Mar del Plata, 1978. Ed.: J. J. Burgos. Actas: 162-180, Buenos Aires.

Foster, S. D., 1987. Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy. Proc. Intl. Conf. "Vulnerability of soils and groundwater to pollutants" (Noorwijk, Holanda, Abril 1987).

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.

García, C., 1967. Análisis de las clasificaciones climáticas del territorio argentino. Serie A, Nro. 24. Buenos Aires, Argentina.

García J., 1969. El agua subterránea en la cuenca de Bahía Blanca, Reunión sobre la Geología del agua subterránea de la provincia de Buenos Aires. Relatorios CIC: 79-90. La Plata.

García, J. y Ofelia E. de García, 1964. Hidrogeología de la región de Bahía Blanca (provincias de Buenos Aires y La Pampa). Dirección Nacional de Geología y Minería. Boletín No 96. Buenos Aires. 93 pág.

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.

Gerster, R., Welsink, H., Ansa, A. y Raggio, F., 2011. Cuenca del Colorado en: Kozlowski, E., Legarreta, L., Boll, A., Marshall, P., 2011. (Eds.). VIII Congreso de Exploración de y Desarrollo de Hidrocarburos. Simposio Cuencas Argentinas. Visión actual. Mar del Plata. Pp 65-80.

Ghazavi R. y Ebrahimi, Z., 2015. Assessing groundwater vulnerability to contamination in an arid environment using DRASTIC and GOD models. Int J Environ Sci Technol. Vol 12: 2909-2918.

Giai, S. B. y Hernández, M. A., 1999. Aproximación de la curva recarga-precipitación en zonas medanosas. En Tineo, A. (Ed.), Hidrología Subterránea. Serie de Correlación Geológica 13: 353-360.

Gogu, R. C. y Dassargues, A., 2000. Current trends and future challenges in ground-water vulnerability assessment using overlay and index methods. Environmental Geology 39(6):549-559.

Gong, Z., Lu, X., Ma, M., Watt, C. y Le, X. C., 2002. Arsenic speciation analysis, Talanta 58, 77-96.

González Bernáldez, F. y Montes, C., 1989. Los humedales del acuífero de Madrid. Inventario y tipología según su origen y funcionamiento. Canal de Isabel II, Madrid.

González Uriarte, M., 1984. Características geomorfológicas de la porción continental que rodea la Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires. Actas 9no. Congreso Argentino de Geología, Bariloche, Argentina. p. 556-576.

González Uriarte, M., Kruger, H. y Arbanesi, G., 1985. Determinación de unidades geoedáficas para la valoración expeditiva de suelos y como base del diagnóstico agropecuario. Su aplicación en el partido de Villarino, provincia de Buenos Aires. Ciencia del Suelo. Volumen 3. N° 1-2.

González Uriarte, M., 2002. Geoambientes del Sudoeste Bonaerense. En: Vaquero, M. (Comp.) Territorio, economía y medio ambiente en el Sudoeste Bonaerense. Bahía Blanca: Editorial de la Universidad Nacional del Sur.

Gorenstein, S., Tortul, M. y Mara, E. G., 2016. La estructura urbana en el interior de la Provincia de Buenos Aires. Documento de trabajo N° 1. Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales del Sur (IIESS) CONICET-UNS. Inédito.

Groeber, P., 1949. Resumen preliminar de las observaciones realizadas en el viaje a la región al sur de Bahía Blanca en enero de 1947. Notas del Museo de La Plata. Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina.

Hargreaves, G. H. y Samani, Z. A., 1985. Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature. Am. Soc. Agric. Eng. 1 (2): 96-99.

Healy, R. W., 2010. Estimating Groundwater Recharge. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.

Healy, R. W., Winter, T. C., LaBaugh, J. W. y Franke, O. L., 2007. Water budgets: foundations or effective water-resources and environmental management. US Geological Survey Circular 1308.

Hendrickx, J. M. y Walker, G. R., 1997. Recharge from precipitation. En: Recharge of Phreatic Aquifers in (Semi-) Arid Areas. IAH. Rotterdam, Holanda: A.A. Balkema. Pp: 19-111.

Hernández, M. A., Filí, M., Auge, M. y Ceci, J. H., 1979. Geohidrología de los acuíferos profundos de la Provincia de Buenos Aires. En: VI Congreso Geol. Arg. (II), 479-500. Buenos Aires.

Hounslow, A. W., 1995. Water Quality Data. Analysis and Interpretation. Lewis Publishers, U.S.A.

Ighbal, J., Gorai, A. K., Katpatal, Y. B. y Pathak, G., 2014. Development of GIS-based fuzzy pattern recognition model (modified DRASTIC model) for groundwater vulnerability to pollution assessment. Int. J. Environ Sci. Technol, 12(10).

INDEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos), 2010. Censo Nacional de población, hogares y viviendas. Argentina.

Juan, R., De Jager, J., Russell, J. y Gehard, I., 1996. Flanco Norte de la Cuenca del Colorado. En: Ramos, V.A. y Turic, M.A. (Eds.), Geología y Recursos Naturales de la Plataforma Continental Argentina. 13º Congreso Geológico Argentino y 3º Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Relatorio 7: 117-133.

Kaaschieter, J. P., 1965. Geología de la Cuenca del Colorado. Acta Geol Lilloana. II Jorn. Geol. Argentina III: 251-271. Tucumán.

Kinzelbach, W., Aeschbach, W., Alberich, C., Goni, I. B., Beyerle, U., Brunner, P., Chiang, W. H., Rueedi, J. y Zoellman, K., 2002. A Survey of Methods for Groundwater Recharge in Arid and Semi-Arid Regions, Early Warning and Assessment Report Series, UNEP/DEWA/RS.02-2. United Nations Environment Programme: Nairobi, ISBN 92-80702131-80702133.

- Kruse, E. y Zimmermann, E. D., 2002. Hidrogeología de Grandes Llanuras. Particularidades en la Llanura Pampeana (Argentina). Actas del Congreso sobre Agua Subterránea y Desarrollo Humano, En: Bocanegra, E., Martínez, D., Massone, H. (Eds.), pp. 2025–2038.
- Laya, H. y Barnes, R., 1969. Cartografía de suelos y sus relaciones genéticas. Área de Médanos (Bs. As.). Actas de la 5a. Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. Santa Fe, 286-294 p.
- Lepori E. C. V., 2015. Hidroarsenicismo crónico regional endémico en Argentina. Acta Bioquímica Clínica Latinoam. 49(1):83-104.
- Lerner, D. N., 1990. General principles of techniques for estimating recharge. En: Lerner, D.N., Issar, A. S. y Simmers I. (Eds.), Groundwater recharge. International Association of Hydrogeologist, Contributions to Hydrogeology, vol. 8:101-228. Heise. Hannover, Alemania.
- Lesta, P. J., Turic, M. A. y Mainardi, E., 1979. Actualización de la información estratigráfica en la Cuenca del Colorado. 7º Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 701 - 713.
- Lexow, C. y Bonorino, A. G., 2012. Estudio hidrogeológico de Médanos. FUNS. Para ABSA (informe inédito).
- Limbozzi, F., 2011. Elementos traza en el agua subterránea, rol de la zona no saturada como fuente de aporte de flúor (Tesis de Doctorado en Química). UNS, 388 p. (inédito).
- Loke, M. H., 2004. Tutorial 2D and 3D electrical imaging surveys. 128 p. (Recuperado de: <http://www.geotomosoft.com/coursenote.zip>).
- Luque, J. L., 2018. Calidad de agua para bebida de animales. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Recuperado de: <https://inta.gob.ar/documentos/calidad-de-agua-para-bebida-de-animales.pdf>
- Malán, J. M., 1980. Resumen sobre los principales aspectos geohidrológicos en el área Pico-Dorila y sus adyacencias, con determinación de las posibilidades de explotación de sus acuíferos para el abastecimiento de agua potable a la ciudad de General Pico. Administración Provincial del Agua, Santa Rosa (inédito).
- Malán, J. M., 1983. Estudio hidrogeológico para el abastecimiento de agua potable a la localidad de General Pico, departamento Maracó, provincia de La Pampa. Informe preliminar. En: Coloquio de Hidrología de Grandes Llanuras, Actas III. Olavarría: 1449- 1457.

Manzano, M., Borja F. y Montes, C., 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.

Margat, J., 1968. Vulnérabilité des nappes d'eau souterraines à la pollution. Bases de la cartographie. BRGM # 68. SLG 198 HYD. Orléans.

Mariño, E. E. y Bonorino, A. G., 1996. Estimación de la infiltración eficaz en un acuífero en ambiente medanoso a partir de mediciones periódicas del nivel freático. XIII Congreso Geológico Argentino. Actas IV: 405-408. Buenos Aires, Argentina.

Mariño, E. E., y Schulz, C. J., 2008. Importancia de los acuíferos en ambiente medanoso en la región semiárida pampeana. Huellas, 12, 113-127.

Martínez, D.E., Quiroz, O.M., Dapeña, C., Glok-Galli, M., Massone, H.E. y Ferrante, A. 2011. Caracterización isotópica e hidroquímica de las precipitaciones en el sector sur de Tandilia. En: VII Congreso Argentino de Hidrogeología y V Seminario Hispano-Latinoamericano Sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Calidad y Contaminación de Agua Subterránea. Salta, Actas: 369-376. ISBN: 978-987-23936-7-0.

Miaczynski, C. y Tschapek, M., 1965. Los suelos de estepa de la Región Pampeana. Revista de Investigaciones Agropecuarias (INTA), Serie 3, Vol. II, N°3, pp. 35-79. Buenos Aires.

Molfino, R., 1950. Suelos de la Península Verde (Partido Villarino). Inédito. Instituto de Suelos y Agrotecnia. Buenos Aires, Argentina.

Montes, C., Borja, F., Bravo, M. A. y Moreira, J. M., 1998. Reconocimiento Biofísico de Espacios Naturales Protegidos. Doñana: Una Aproximación Ecosistémica. CMA. Junta de Andalucía, Sevilla.

National Research Council, 1993. Groundwater vulnerability assessment, contaminant potential under conditions of uncertainty. National Academy Press, Washington, D.C.

Nicolli, H. B., Bundschuh, J., Blanco, M. D. C., Tujchneider, O. C., Panarello, H. O., Dapeña, C., Rusansky, J. E., 2012. Arsenic and associated trace-elements in groundwater from the Chaco-Pampean plain, Argentina: results from 100 years of research. Sci Total Environ 429:36–56. DOI:[10.1016/j.scitotenv.2012.04.048](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.04.048)

Ocampo, D. y Rivas, R., 2011. Evaluación de métodos de estimación de la evapotranspiración a escala mensual y anual en Argentina: Aplicación en zonas húmedas y áridas. Cuadernos del Curiham, 17, 33–41.

O.N.U., 2010. Asamblea General de Naciones Unidas. Resolución A/RES/64/292. El derecho humano al agua y saneamiento. Aprobada el 28 julio 2010. Recueprado de: https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/64/292&Lang=S.

Orellana, E. 1982. Prospección geoelectrica en corriente continua. Paraninfo. 578 p.

Organización Mundial de la Salud, 2018. Guías para la calidad del agua potable. Ed. 4: 1-398.

Pascual, R., 1961. Un Nuevo Cardiomyinae (Rodentia, Caviidae) de la Formación Arroyo Chasicó (Plioceno inferior) de la provincia de Buenos Aires. Ameghiniana 2(4): 57-71.

Pastorino, L., 2014. Código de Aguas de la Provincia de Buenos Aires. En: De códigos y desafíos jurídicos para enfrentar la crisis del agua. Buenos Aires. Recuperado de: <http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/43376/Libro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Plan Andaluz de Humedales, 2002. Consejería de Medio Ambiente. España.

Ponce, V. M., 2007. Rendimiento sostenible del agua subterránea. Recuperado de: <http://ponce.sdsu.edu/rendimiento.html>

Prieto, M. N., 2011. Cambios y continuidades del sistema de asentamiento de la población en el Sudoeste Bonaerense. Recuperado de: <http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/pubpdf/huellas/v15a15prieto.pdf>.

Puntoriero, M. L., Fernández Cirelli, A., Volpedo, A. V., 2014. Geochemical mechanisms controlling the chemical composition of groundwater and surface water in the southwest of the Pampean plain (Argentina), J. Geochem. Explor. DOI:10.1016/j.gexplo.2014.12.011.

Quevedo, C., 1950. Reconocimientos de la erosión de los suelos en la República Argentina. Tirada interna N° 15. Instituto de Suelos y Agrotecnia. Buenos Aires, Argentina.

Ramos, V. A., 1984. Patagonia: ¿Un continente paleozoico a la deriva?. 9º Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 311-325.

Ramsar, 2010. Ramsar handbooks for the wise use of wetlands, 4th edition. Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland.

Randle, P., 1978. La conciencia territorial y su déficit en la Argentina actual. Ed. Oikos. Buenos Aires, Argentina.

Remenieras, G., 1974. "Evaporación, transpiración y déficit de escurrimiento", Capítulo V. En: Tratado de Hidrología Aplicada, Editores Técnicos Asociados, 2ª. edición, Barcelona, España, pp. 205-300.

Richards, L. A., 1969. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. United States Salinity Laboratory Staff. Agriculture Handbook N° 60. U.S. Government Printing Office, Washington D.C.

Rodrigues Capítulo, L., 2015. Evaluación geohidrológica en la región costera oriental de la provincia de Buenos Aires. Caso de estudio Pinamar. Tesis doctoral. La Plata: Facultad de Ciencias Naturales y Museo.

Rodríguez, D. M., Schulz, G. y Moretti, L. M., 2018. Carta de suelos de la República Argentina, partido de Villarino, provincia de Buenos Aires. Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología (INTA), Hurlingham, Buenos Aires. ISBN 978-987-521-961-8. 189 pp. Ed. INTA Ediciones.

Rolleri, E. O., 1975. Provincias Geológicas Bonaerenses. Relatorio Geología. Prov. de Buenos Aires. VI Congreso Geológico Argentino: 29-53. Bs.As.

Romanelli, A., Quiroz Londoño, O. M., Massone H. E., Martínez, D. E. y Bocanegra, E., 2010. El agua subterránea en el funcionamiento hidrológico de los humedales del Sudeste Bonaerense, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Boletín Geológico y Minero, 121 (4): 373-386.

Rosenthal, E., 1987. Chemical composition of rainfall and ground water in recharge areas of the best Shean-Harod multiple aquifer system, Israel. Journal of Hydrology, 89 (3/4): 329-352.

Rossetto, H. L., 1953. Contribución al conocimiento psamográfico de los médanos de la zona oriental del partido de Villarino, Pcia. de Buenos Aires. Tesis doctoral (inédita). Museo de Ciencias Naturales de La Plata.

Ruffo, A. G., Albouy, R., Bastianelli, N. V. y Carrica, J. C., 2021. Humedales en la franja de médanos costeros entre Monte Hermoso y Pehuen C6, provincia de Buenos Aires, Argentina. Boletín Geológico y Minero, 132 (1-2): 29-36. ISSN: 0366-0176 DOI: 10.21701/bolgeomin.132.1-2.003

Ruffo A. G., 2022. Hidrogeología de las dunas en el ambiente costero suroccidental de la provincia de Buenos Aires, Argentina. (Tesis de Doctorado en Geología). UNS. Recuperado de: <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/6249>.

SAGyP – INTA, 1989. Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires (Escala 1:500.000). Proyecto PNUD ARG/85/019, Buenos Aires. 544 pp.

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.

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).

Sánchez, R. M., Dunel Guerra, L., Scherger. M., 2016. Evaluación de las áreas bajo riego afectadas por salinidad y/o sodicidad en Argentina. 1ra Ed. Hilario Ascasubi, Buenos Aires: Ediciones INTA.

Sasaki, Y., 1992. Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulation. Geophysical Prospecting, 40(4): 453-464.

Scanlon, B. R., Healy, R. W. y Cook, P. G., 2002. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. Hydrogeology Journal.10:18–39.

Schalamuk, I., Del Blanco, M., Marchionni, D., Romero, S. y Cávana, M., 1999. Salinas y sulfateras de la región pampeana, Buenos Aires y La Pampa. Recursos Minerales de la República Argentina. Anales 35, vol. II: 1947-1962.

Schöeller, H., 1962. Les eaux souterraines. Ed. Mason et Cie., 642 p., París.

Schulz, C. J., 2022. Presencia de arsénico como limitante para la gestión del agua subterránea en la llanura Chacopampeana, Argentina. XI Congreso Argentino de Hidrogeología. Bahía Blanca, Argentina. Actas: 51-60.

Scian, B., 2010. Clima: Bahía Blanca y el Sudeste bonaerense. Pp 27-83 en: Ambiente y recursos naturales del partido de Bahía Blanca: clima, morfología, suelos y agua. Paoloni, J. D. (comp.). Ed. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.

Simmers, I. (Ed.), 1997. Recharge of phreatic aquifers in (semi-) arid areas. IAH N° 19. Balkema. Rotterdam-Brookfield. 277 pp.

Simunek, J., Sejna, M. y Van Genuchten, M. T., 2006. The HYDRUS (2D/3D) software package for simulating the two and three-dimensional movement of water, heat and multiple solutes in variably saturated media. Version 1.0. PC Progress, Prague, Czech Republic.

Smedley, P. L., Nicolli, H. B., Macdonald, D. M. J., Barros, A. J. y Tullio, J. O., 2002. Hydrogeochemistry of arsenic and other inorganic constituents in groundwaters from La Pampa, Argentina. Applied Geochemistry, 17(3), 259-284.

Spaletti L. e Isla, F., 2003. Características y Evolución del Delta del Río Colorado ("Colú- Leuvú") Prov. de Buenos Aires, República Argentina. AAS (Asociación Argentina de Sedimentología). Revista vol. 10 n° 1: 23-37.

Stappenbeck, R., 1926. *Geologie und Grundwasserkunde*. Stuttgart, Alemania.

Tallarico, L., Quevedo, C., Prego, A., Bellón, C. y Calcagno, J., 1955. Mapa de erosión de los suelos de la Región Pampeana. 2a. Contribución: Partido de Villarino (Prov. de Bs. As.). Instituto de Suelos y Agrotecnia. Buenos Aires, Argentina.

Tello, E. E., 1986. Arsenicismos hídricos: que es el hidroarsenicismo crónico regional endémico Argentino (HACREA). *Arch. Argent. Dermatol.* 36(4), 197–214.

Thornthwaite, C. W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geologic. Rev.* Vol. 38. 55-94. DOI:<http://dx.doi.org/10.2307/210739>.

Thornthwaite, C. W. y Mather, J. R., 1955. The water balance. *Publications in Climatology*. Vol. III, Number 1. Cantarton, New Jersey, EE.UU.

Tripaldi, A. y Zárate, M. A., 2014. A review of Late Quaternary inland dune systems of South America east of the Andes. *Elsevier, Quaternary International* 410: 96-110.

Urien, C. M., Zambrano, J. J. y Martins, L. R., 1981. The basins of Southern South America (Southern Brazil, Uruguay & eastern Argentina) including the Malvinas Plateau and Southern South Atlantic. *Paleographic Evolution. Cuencas sedimentarias del Jurásico y Cretácico de América del Sur*, 1:45 - 125, Buenos Aires.

Van Wambeke, A. y Scoppa, C., 1976. Las taxas climáticas de los suelos argentinos (Determinación de las definiciones del Soil Taxonomy, utilizando el modelo matemático de Newhall y computación en Fortran). *Rev. IDIA 1976/77 Serie 3 Clima y Suelo*. Vol. XIII, No 1.

Veihmeyer, F. J. y Hendrickson, A. J., 1931. The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soils. *Soil Science* 32:181–194.

Vigier, H., Piattoni Agudiak, M. C., Leonardi, V., Cattaneo, C., Guercio, M. B. y Martínez, L. B., 2019. Determinación preliminar de la demanda de agua de consumo humano para Bahía Blanca y su región de influencia. En: Albouy, R., Avena, M., Diaz, M. S., Parodi, E., Piccolo, M. C. (Eds.), *Actas de las I Jornadas de Agua del Sudoeste Bonaerense (JASOB 2019)*. EdiUNS, Bahía Blanca, Argentina.

Vrba, J. y Zoporozec, A., 1994. Guidebook on mapping groundwater vulnerability. *Int Contrib Hydrogeol* 16:131–142. Verlag Heinz Heise. Hannover.

Wada, Y., Flörke, M., Hanasaki, Eisner, S., Fischer, G., Tramberend, S., Satoh, Y., Van Vliet, M. T. H., Yillia, P., Ringler, C., Burek, P. y Wilberg, D., 2016. Modelling global water use for the 21st

century: the water futures and solutions (WFaS) initiative and its approaches. En: Geoscientific model development, Vol. 9, pps 175-222.

Wentworth, C. K., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology* 30: 377–392.

Westra, L., Miller, P., Karr, J. R., Rees, W. E. y Ulanowicz, R. E., 2000. Ecological integrity and the aims of the global integrity project. En: Pimentel, D. Westra, L. y Noss, R. F. (Eds). *Ecological Integrity. Integrating Environment, Conservation and Health*: 19-44; Island Press. Washington, D.C., USA.

World Health Organization (WHO), 2003. *Domestic Water Quantity, Service Level and Health*. WHO, Ginebra, Suiza.

Wichmann, R., 1918. Geología e hidrogeología de Bahía Blanca y sus alrededores (Provincia de Buenos Aires). *Anales Ministerio Agricultura de la Nación, Sec. Geol. y Minería*, XIII, N° 1. Buenos Aires.

WWAP/ONU (Programa mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos), 2018. *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2018: soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua*. París, UNESCO.

Yrigoyen, M. R., 1999. Los depósitos cretácicos y terciarios de las Cuencas del Salado y Colorado. En: Caminos, R. (Ed.), 1999. *Geología Argentina*. Buenos Aires. Servicio Geológico Minero Argentino, Instituto de Geología y Recursos Minerales, *Anales* 29, 645–650.

Zambrano J., 1974. Cuencas sedimentarias en el subsuelo de la Provincia de Buenos Aires y zonas adyacentes. *Rev. Asoc. Geol. Arg.* XXIX (4), 443-469. Buenos Aires.

Zambrano, J., 1980. Comarca de la Cuenca Cretácica del Colorado. En: *Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias. Córdoba. Pp: 1033-1070.

Zárate, M., Schultz, P., Blasi, A., Heil, C., King, J. y Hames W., 2007. Geology and geochronology of type Chasicuan (late Miocene) mammal-bearing deposits of Buenos Aires (Argentina). *Journal of South American Earth Sciences* 23: 81-90.

Zárate, M. A. y Tripaldi, A., 2012. The aeolian system of central Argentina. *Aeolian Research*. 3(4):401-417.

Zavala, C., Abrameto, A., Azúa, G., Freije, H., Inchetronn, C.H. y Ponce, J., 2000. Estratigrafía de los acantilados marinos de la zona de El Cóndor-Bahía Rosas (Formación Río Negro, Mioceno-Plioceno). Provincia de Río Negro. 2º Congreso Latinoamericano de Sedimentología, Resúmenes: 186-187.

Zavala, C., García, L. y Di Meglio, M. 2005. Redes de drenaje y paleoclimas en el Cuaternario del sur de la provincia de Buenos Aires. XVI Congreso Geológico Argentino, CD-ROM, Artículo N° 156. 2pp. La Plata.

ANEXOS

Anexo I

Serie de precipitaciones de la localidad de Médanos (1972-2005)

1972	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total		
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0		
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0		
M	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	16	-	-	-	2	3	9	-	-	12	-	-	-	-	-	-	52	
A	-	-	-	-	-	-	-	36	13	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	57	
M	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	10	
J	-	5	-	-	-	12	13	-	-	-	-	9	-	29	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	74	
J	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	6	-	-	-	7	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	4	-	-	-	20	
S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	11	33	-	-	-	7	-	-	-	-	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	73	
O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	15	-	-	-	-	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43	
N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28	-	-	14	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	7	-	64	
D	-	-	62	-	-	-	-	-	-	-	10	-	2	-	-	8	5	-	-	-	-	31	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	123	524
1973	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total		
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	6	-	-	-	-	-	-	-	11	-	27		
F	34	11	3	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-	31	-	-	-	-	-	25	-	-	-	131		
M	-	12	21	25	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	17	-	-	-	-	-	-	96		
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	69	-	-	-	-	-	-	-	69		
M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	23	-	-	-	-	25		
J	-	-	-	-	-	-	-	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	17	-	-	49		
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0		
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	3		
S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6		
O	-	-	16	-	8	-	3	-	32	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-	10	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	94		
N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0		
D	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	508	
1974	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total		
E	-	-	-	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-	-	78		
F	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16		
M	25	-	-	-	-	-	5	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37		
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18		
M	-	-	-	-	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	8	-	-	-	-	-	-	10	45		
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	2	-	6	-	-	-	-	12		
J	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15		
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	3		
S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2		
O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	8	-	31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	49	
N	-	9	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	3	7	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26		
D	14	1	-	-	-	-	15	16	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	3	-	-	12	-	-	-	-	74	375	
1975	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total		
E	-	-	7	8	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31	-	52		
F	-	-	12	-	-	4	-	-	10	5	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	116	
M	-	-	-	110	-	-	-	-	-	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	127	
A	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	3	-	14	-	-	-	-	-	-	29	13	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	75		
M	-	-	-	-	-	-	-	-	3	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	40		
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	-	-	9	-	-	-	-	-	10	1	-	-	-	-	-	24		
J	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	9		
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0		
S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32	-	-	-	42		
O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	6	-	16	-	-	-	6	6	39		
N	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8		
D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	532	

1976	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total	
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	37		
F	-	24	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	24	15	-	-	-	4	2	-	-	69	-	-	34	-	-	187		
M	1	-	-	-	10	-	2	-	-	41	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	55		
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	-	1	3	104	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	138		
M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	3		
J	-	-	-	-	-	7	8	5	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22		
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27	27	
A	1	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	32	-	-	-	-	-	43		
S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-	46	-	-	-	-	58		
O	-	-	-	3	-	-	-	10	27	-	-	-	32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	63	-	-	137		
N	-	31	2	-	-	-	-	-	-	16	-	-	-	-	42	7	-	-	-	-	-	-	2	-	15	83	3	-	-	1	-	202	
D	-	4	-	6	-	-	-	-	-	3	-	11	-	3	-	-	-	3	-	3	20	4	-	-	-	-	-	-	-	-	57	966	
1977	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total	
E	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	4	-	-	-	58	-	30	-	-	21	13	-	-	-	-	-	5	5	30	27	-	196	
F	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	25	-	-	-	25	-	-	-	-	63	
M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	8		
A	-	-	-	-	-	-	3	-	33	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	48	
M	-	-	-	5	-	-	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	
J	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	
J	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	4	3	-	-	-	-	-	-	-	-	13	
A	-	-	-	-	-	-	10	2	-	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26	
S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	
O	-	-	40	-	-	-	11	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	9	1	-	-	-	-	-	-	-	4	-	66	
N	3	3	-	-	6	-	47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	61	
D	-	7	18	-	-	1	-	-	-	-	14	-	-	-	7	-	112	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	164	672
1978	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total	
E	-	-	1	7	-	-	-	-	4	-	-	-	2	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	85	-	-	-	-	85	
M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	37	-	-	-	-	-	-	-	3	8	1	7	-	-	-	-	-	-	61	
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	21	
M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	8	-	-	2	-	-	3	-	-	-	-	9	-	-	-	-	1	-	-	24	
J	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	
J	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-	1	-	-	5	2	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38	
A	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1	-	-	18	
S	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-	13	-	-	-	-	-	1	-	22	-	-	-	-	15	-	65	
O	-	-	-	-	-	6	20	-	-	-	6	-	-	-	-	-	5	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38	
N	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	5	-	8	5	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	47	
D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	18	-	-	99	-	-	-	-	-	-	-	-	120	536
1979	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total	
E	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	24	14	-	-	-	-	-	-	74	
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
M	-	-	50	-	-	74	-	-	-	-	-	-	-	3	8	-	-	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	147	
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3	-	-	26	
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	12	
A	-	-	-	1	-	5	-	-	-	4	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	1	3	-	-	19	
S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	23	
O	-	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-	86	
N	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	5	15	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	52	
D	-	10	2	-	10	-	-	-	-	-	-	20	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	59	499
1980	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total	
E	-	-	-	20	-	-	-	-	-	-	30	7	-	-	-	-	-	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	82	
F	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	
M	-	-	-	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	7	30	-	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	185	
A	-	-	-	-	-	-	-	10	-	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33	-	-	120	-	-	-	-	-	198	
M	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	1	-	3	-	32	
J	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	1																						

1981	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total			
E	-	-	-	-	-	-	7	8	-	2	-	-	-	-	-	1	-	-	17	-	-	-	8	-	7	-	22	-	-	-	9	66			
F	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	23			
M	30	-	-	-	16	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	78			
A	-	-	-	-	-	18	-	-	-	-	10	-	15	6	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	11	-	-	-	-	-	-	-	66		
M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	15	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	27			
J	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3			
J	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3			
A	-	-	2	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	6			
S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0			
O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24	-	29	-	-	53			
N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	10	-	31			
D	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	6	-	-	-	-	43	399	
1982	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total			
E	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	4	-	-	8	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	7	-	11	-	-	47			
F	-	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56		
M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	39	-	-	-	-	-	-	1	-	-	3	-	23	-	-	-	-	-	-	-	-	66		
A	6	-	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37	-	-	-	-	-	-	11	-	-	-	-	-	-	50	1	-	-	-	-	121		
M	1	-	-	-	-	-	-	-	18	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33		
J	4	-	-	-	-	1	-	-	6	-	-	5	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	5	-	-	-	37		
J	-	-	-	-	-	19	-	5	-	-	-	15	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	41		
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20		
S	-	-	-	-	-	-	-	60	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	1	-	-	-	80		
O	9	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	10	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40		
N	-	-	-	-	5	-	3	-	-	-	-	-	10	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22		
D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	7	570		
1983	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total			
E	-	2	-	-	-	57	2	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	-	8	-	-	-	48	-	-	-	-	147		
F	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	12		
M	-	-	-	-	-	-	52	7	-	-	-	-	-	-	34	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	52	-	3	-	19	-	-	169		
A	25	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28	1	-	-	-	-	-	8	-	4	-	-	-	-	-	-	67		
M	-	-	24	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	34	-	3	67			
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8		
J	-	-	-	-	4	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6		
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	13	-	-	-	19		
S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	-	-	-	-	-	-	21		
O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	13	-	-	-	-	40		
N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	23		
D	-	-	2	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	19	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	4	-	-	-	121	-	-	-	150	729
1984	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total			
E	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	-	12	-	-	-	-	-	-	63		
F	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60	4	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	76		
M	-	-	2	-	-	1	-	-	-	-	-	-	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	10	-	-	42		
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28		
M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	65	-	-	-	-	68		
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	5	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26		
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	49	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53		
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16		
S	-	-	-	-	-	12	-	-	-	2	-	-	-	12	-	8	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38		
O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	59	-	-	-	-	-	-	-	4	-	18	-	-	-	-	-	-	-	-	93		
N	-	-	-	-	3	-	-	62	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	107		
D	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	626	
1985	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total			
E	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28	4	-	-	6	-	5	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	11	71				
F	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26		
M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	6	35	-	-	-	-</					

1986	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total
E	-	-	-	-	-	-	11	-	-	-	1	-	-	7	-	-	69	-	-	-	-	-	16	1	16	-	-	-	-	-	11	132
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-	-	-	-	-	24	
M	-	-	-	1	-	-	-	-	-	11	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28	-	12	56
A	-	-	-	-	-	-	7	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	13
M	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29	
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	20	
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	70	70	
S	-	10	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	4	-	4	-	28	
O	-	-	-	-	4	-	18	16	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	7	3	-	2	-	-	58	
N	4	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	10	
D	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	23	-	-	-	-	16	-	44	493
1987	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	4	26	-	-	34
F	-	-	-	-	10	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	7	-	-	-	-	-	-	34	
M	1	3	-	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	10	-	-	-	-	-	-	84	
A	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	67	
M	23	-	1	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	32	
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	3	
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	18	-	-	-	-	-	-	-	-	20	
A	-	-	-	25	-	-	-	-	-	-	29	-	3	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	69	
S	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	-	-	21	
O	-	-	2	-	-	1	-	-	-	10	4	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	23	80
N	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	13	
D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	464
1988	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	10	-	1	-	-	-	-	6	-	-	19	
M	6	5	-	-	4	-	-	7	54	-	7	-	74	-	-	-	-	-	-	2	-	10	-	6	-	-	-	-	-	-	163	
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	6	2	-	-	-	-	-	-	11	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	26	
M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	
A	-	-	-	-	-	-	2	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	
S	-	-	-	-	1	-	-	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34	-	57	-	-	-	-	-	-	16	-	126
O	-	-	3	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	
N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	
D	-	-	-	-	-	-	13	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	420
1989	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	23	-	-	-	-	-	-	26	
F	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	-	-	-	4	-	-	-	68	
M	-	-	-	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	26	
A	-	2	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	
M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42	
J	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	
J	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	81	-	-	9	4	-	-	-	-	-	-	95	
A	-	-	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	42	-	2	-	-	-	-	-	-	-	64	
S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	92	-	-	-	-	-	-	-	-	117	
O	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	19	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	29	
N	-	9	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	7	23	
D	-	12	-	-	-	-	-	19	-	-	-	2	-	-	47	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	82	583
1990	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total
E	-	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	1	-	40
F	81	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	93	
M	-	-	-	-	6	15	-	-	13	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	12	-	-	-	-	-	-	-	49	
A	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32	
M	-	1	-	3	2	-	-	-	7	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26	
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
J	8	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29	
A	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	
S	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	
O	-	-	3	-	-	-	11	-	-	-	62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				

1991	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total		
E	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29	36			
F	-	-	-	-	-	-	3	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23		
M	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	1	-	33		
A	-	-	-	-	-	-	-	6	-	12	-	5	-	15	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	46	-	97		
M	-	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	31		
J	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52		
J	-	-	-	-	-	-	9	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14		
A	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33		
S	-	29	-	-	-	44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	79		
O	-	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	31		
N	-	-	-	-	3	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19		
D	-	17	-	-	-	-	3	-	-	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-	-	77	525	
1992	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total		
E	-	83	-	-	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-	5	159		
F	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	12	-	8	-	-	-	-	6	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	55		
M	-	-	-	-	-	-	10	30	-	-	-	-	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	98		
A	-	-	8	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	12	1	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	39		
M	-	-	-	-	-	-	3	-	-	32	24	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60		
J	-	-	-	-	-	-	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	62	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90		
J	-	-	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16		
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-	25		
S	-	-	-	-	2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	73	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	87		
O	8	-	14	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24		
N	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	-	13	-	7	-	-	-	-	3	-	11	-	-	-	-	-	55		
D	-	-	13	8	1	31	7	-	-	-	-	9	-	3	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	81	789	
1993	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total		
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	-	20	-	-	-	-	-	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	74		
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	18	-	-	-	-	-	-	28		
M	-	-	-	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21		
A	8	-	-	26	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	46		
M	-	-	6	-	-	1	-	-	-	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	63		
J	-	-	-	-	-	5	-	-	1	-	-	-	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	60		
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0		
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-	-	3		
S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	-	2	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19		
O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	-	47		
N	-	-	-	-	35	12	-	-	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	4	1	20	-	-	-	-	-	-	93		
D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	4	13	467	
1994	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total		
E	-	-	-	-	-	2	46	-	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-	27	-	-	-	-	-	-	-	-	89		
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	58	9	-	-	-	-	-	-	-	69		
M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41	-	-	3	-	-	-	-	5	7	-	-	-	-	-	-	-	56		
A	-	-	-	2	-	-	-	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28		
M	-	-	-	-	-	34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41		
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	6	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	10		
J	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	23		
A	-	-	-	-	-	-	32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32		
S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	2	-	-	-	-	-	-	-	-	11		
O	3	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	2	-	-	-	-	-	-	3	29		
N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44		
D	-	-	-	25	-	2	-	10	-	12	-	26	4	-	3	6	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	23	-	114	546	
1995	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total		
E	-	-	7	-	-	-	-	-	-	2	9	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	29	-	-	-	-	-	55		
F	5	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	6	9	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40		
M	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36	-	101		
A	-	-	-	-	-	-	21	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	24		
M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	3		
J	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	4		
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0		
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	1	-	-	5	-	1	-	-	-	-	9		
S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5		
O	-	-	-	15	3	3	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	
N	-	-	-	3	1	-	-	-	-	-	-	-	3	2	-	-	-	-	-	-	19	-	-	2	6	-	-	-	-	-	-	36		
D	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33	340	

1996	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total	
E	42	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	18	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38	
M	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	46	
A	-	-	-	-	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	41	
M	-	28	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	60	
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	
J	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	
A	-	-	7	-	-	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	74	-	-	-	-	-	-	-	100	
S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	
O	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-	18	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	52	
N	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	24	
D	-	-	-	-	-	100	-	-	19	16	26	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	165	635
1997	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total	
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	3	-	-	15	19	-	-	-	-	7	-	-	-	-	5	-	-	-	58	
F	-	-	1	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	-	2	-	16	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41	
M	-	-	-	-	-	-	-	2	-	4	21	-	-	-	-	43	-	-	36	-	-	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	132	
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	20	
M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	16	
J	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	31	29	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	95	
J	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	69	
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	
S	-	-	2	7	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	3	-	-	13	-	47	
O	-	24	-	-	-	2	-	-	-	2	-	-	-	22	2	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56	
N	-	-	-	-	-	5	-	5	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	13	
D	-	6	-	-	-	-	-	3	-	3	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	25	579
1998	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total	
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	29	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	38	
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	54	120	2	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	177	
M	-	-	29	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	50	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	96	
A	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33	
M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
A	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	
S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	5	-	-	-	-	24	-	-	-	-	-	-	-	35	
O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
N	-	-	-	-	-	-	-	23	-	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	57	
D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	12	7	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23	478
1999	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total	
E	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	9	3	-	-	-	-	-	29	
F	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	28	23	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	67	
M	8	-	-	54	-	-	-	18	10	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	55	-	-	-	-	-	4	1	-	-	-	152	
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-	14	
M	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	35	-	-	-	-	45	
J	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	
J	2	6	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	15	
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	-	-	-	-	2	-	-	13	
S	12	-	-	-	-	8	-	-	1	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	46	
O	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-	-	-	-	-	27	
N	3	13	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	13	-	-	-	-	23	-	-	61	
D	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	76	547
2000	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total	
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	-	-	-	-	18	
F	3	26	-	-	11	-	24	1	4	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	1	12	23	-	-	-	-	-	-	163	
M	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35	-	-	-	8	-	-	-	15	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	63	
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	2	-	15	
M	12	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	36	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	82	
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-	1	-	-	15	
J	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	
A	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	8	-	-	6	3	-	-	-	-	-	-	-	-	22	
S	-	-	-	-	-	-	4	14	2	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	
O	-	16	-	3	-	-	3	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	1	32	
N	-	-	-	-	-	2	-	3	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	
D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	448

2001	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total		
E	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	-	22		
F	-	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	6	-	-	-	-	66		
M	-	-	9	-	-	-	-	-	19	-	3	21	-	5	-	-	-	-	-	-	10	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	68		
A	-	7	-	2	-	-	-	-	-	20	-	44	-	-	9	32	25	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	148		
M	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26	7	5	-	-	-	-	-	40		
J	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	7	1	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22		
J	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	11		
A	-	-	8	29	18	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	58		
S	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	20	-	-	-	12	-	9	-	-	-	78		
O	-	-	-	-	-	9	11	10	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	10	-	24	-	-	-	3	-	-	-	-	69		
N	-	-	-	2	26	-	-	-	3	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43		
D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	625		
2002	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total		
E	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3	-	9	-	-	-	-	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	40		
F	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1		
M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32	-	3	-	4	-	-	-	-	-	-	-	4	-	14	-	-	-	57		
A	-	-	-	-	-	32	34	-	4	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	74		
M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	1	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26		
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0		
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11		
A	-	-	-	-	-	2	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	10	-	-	-	-	-	-	6	97	-	-	-	-	-	137		
S	-	-	7	-	-	2	-	-	-	-	-	2	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	23		
O	-	-	-	-	9	-	-	4	-	-	2	-	-	18	-	-	-	15	1	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	55		
N	7	-	-	-	-	-	7	-	9	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52		
D	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	5	-	19	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36	512	
2003	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total		
E	-	13	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	5	-	-	-	-	25		
F	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	12	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	21		
M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-	-	12		
A	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	57		
M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	45	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	49		
J	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	12		
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0		
A	-	-	-	49	11	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	63		
S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24	10	-	-	-	-	-	44		
O	-	-	-	-	-	29	-	8	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	10	-	-	-	-	-	-	-	57		
N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20		
D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-	-	-	-	-	4	4	-	-	-	-	24	384	
2004	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total		
E	-	-	-	4	-	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	50		
F	-	13	-	-	-	-	-	2	-	1	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25		
M	-	26	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	7	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	1	-	15	38	109			
A	-	-	-	-	100	-	13	-	-	13	7	8	8	-	-	-	-	-	-	-	-	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	184		
M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0		
J	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	2	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10		
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	10	7	-	11	2	2	36	-	-	-	-	-	71		
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	6	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9		
S	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	7	-	-	-	-	-	26		
O	-	-	-	-	-	20	7	-	-	-	66	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	95		
N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	2	3	-	2	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	28		
D	34	19	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	7	24	-	-	-	-	-	-	-	-	103	710	
2005	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total		
E	-	31	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	-	-	-	37		
F	-	-	-	-	-	52	2	-	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	72		
M	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	30	4	-	1	-	-	-	-	-	-	14	-	20	-	-	-	-	71		
A	-	-	-	-	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16		
M	-	-	-	27	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38		
J	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	7	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13		
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	1	17		
A	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	12		
S	-	-	-	-	-	-	7	6	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	-	-	-	-	-	9	3	-	-	-	62		
O	-	-	9	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11		
N	-	5	1	-	-	-	-	-	-	-	-	5	11	-	-	-	-	-	-	-	29	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	55		
D	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	1	2	-	-	12	-	-	-	-	-	24	428	

Anexo II

Análisis químicos de muestras de agua subterránea

Nombre	Latitud	Longitud	pH	CE (µS/cm)	TDS (ppm)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ⁼ (mg/L)	CO ₃ ⁼ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Ca ⁺ (mg/L)	Mg ⁺⁺ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	As (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	Alc. (mg/L de CaCO ₃)	Dureza (mg/L)
CDBA1	38°49'12,41"S	62°39'49,12"O	7,66	1690	1055	-	-	-	-	-	-	-	-	241	0,021	1,3	-	-
CDBA2	38°49'6,47"S	62°39'45,14"O	8,21	2860	1783	-	-	-	-	-	-	-	-	497	0,1	3,3	-	-
TMCO	38°48'17,61"S	62°40'14,00"O	7,97	569	357	37	-	-	-	-	-	-	-	5,8	0,005	0,76	-	-
VCTO	38°47'35,42"S	62°39'59,14"O	8,54	754	472	46	19,4	0	378,2	134	-	45	5	5,9	0,024	0,95	-	133
MBA	38°47'18,44"S	62°39'52,15"O	8,5	1190	743	98	50,8	0	422,1	215	-	61	16	95,9	0,099	1,4	-	218,1
MED4	38°46'55,81"S	62°44'10,45"O	8,08	681	426	41	-	-	-	-	-	-	-	17,8	0,011	1,77	-	-
MED7	38°46'57,43"S	62°43'25,40"O	8,37	760	476	51	-	-	-	-	-	-	-	30	0,055	2,5	-	-
MED8	38°47'35,31"S	62°43'55,45"O	8,6	1320	824	55	-	-	-	-	-	-	-	21,46	0,078	2,1	-	-
MED9	38°49'08,5"S	62°41'44,3"O	-	3140	1957	402	184	0	700	732	-	21	14	153	0,31	6,7	700	109,9
MED10	38°47'40,07"S	62°39'43,56"O	8,03	904	565	100	-	-	-	-	-	-	-	3,53	0,023	0,98	-	-
MED11	38°53'10,79"S	62°32'59,65"O	8,11	1730	1079	88	60,7	-	-	335	-	26	3	72,15	0,243	10,9	-	77,3
MED12	38°53'42,25"S	62°32'2,67"O	8,02	1920	1198	-	-	-	-	-	-	-	-	49,14	0,096	10,4	-	-
MED13	38°50'5,29"S	62°38'51,31"O	8,6	1070	668	-	-	-	-	-	-	-	-	27,15	0,033	1,02	-	-
MED14	38°53'4,16"S	62°30'35,39"O	7,86	1260	787	-	-	-	-	-	-	-	-	61,38	0,047	4,4	-	-
MED15	38°46'16,22"S	62°37'31,03"O	7,56	1060	662	61	58,2	-	-	155	-	58	12	6,2	0,06	1,69	-	194,2
MED16	38°46'48,29"S	62°37'52,29"O	7,86	858	536	-	-	-	-	-	-	-	-	65,86	0,009	0,446	-	-
MED17	38°46'53,92"S	62°40'36,74"O	7,86	1190	743	-	-	-	-	-	-	-	-	227,07	0,026	1,01	-	-
MED19	38°48'17,77"S	62°41'29,43"O	9,02	951	595	-	-	-	-	-	-	-	-	1,46	0,1	1,83	-	-
MED20	38°45'55,12"S	62°44'46,65"O	7,5	885	554	-	-	-	-	-	-	-	-	7,2	0,049	0,5	-	-
MED21	38°46'37,30"S	62°43'49,20"O	7,64	1210	756	120	-	-	-	-	-	-	-	52,8	0,012	1	-	-
LE1	38°46'25,7"S	62°48'04,50"O	7,7	610	271	37,9	26,5	8,4	273	66,1	1,2	29,5	22,3	-	0,036	1,4	238	165
LM2	38°46'58,90"S	62°38'38,80"O	7,8	610	273	49,9	22,1	16,2	211	71,2	3,6	30,6	16,1	-	0,023	< 1	200,5	142
P11	38°42'10,10"S	62°55'22,80"O	7,6	1140	510	125	59,9	13,8	398	154	8,4	30,4	36,8	-	0,016	1,4	349	227
P19	38°52'44,00"S	62°29'49,90"O	7,8	1250	560	70,9	250	28,2	381	260	0,5	17	7,3	-	0,023	9,9	360	73
P32	38°44'41,30"S	62°36'15,20"O	7,3	6300	2990	1602	930	0	254	1159	51,9	134	67,8	-	0,081	< 1	208	616
P33	38°44'21,90"S	62°42'48,10"O	7,1	3700	1680	549	265	0	750	610	35,5	76,7	61,6	-	0,216	< 1	615	445
P34	38°49'36,00"S	62°34'37,20"O	7,4	700	217	69,9	23,8	0	326	109	4,1	23,6	10,8	-	0,041	1,1	267	104
P41	38°39'35,70"S	62°54'24,20"O	7,3	2300	837	479	198	0	499	435	12,7	27,2	26,3	-	0,026	1,2	409	176
P44	38°42'39,80"S	62°47'53,60"O	7,2	1900	741	144	91,5	0	915	225	57,9	59,6	73,7	-	0,036	1,5	750	452
P20	38°46'27,34"S	62°36'27,80"O	7,85	2250	1512	219,6	291	0	603	351	16,2	69,9	34,4	-	0,059	1,75	494	316
P22	38°47'28,70"S	62°44'52,50"O	8,25	910	673	35,9	19	19,8	473	204	4,6	4,1	3,3	-	0,045	6,1	421	24
P26	38°40'34,80"S	62°58'21,10"O	7,56	2610	1729	415,3	216	7,8	568	402	80,6	50,4	47,5	-	0,078	1,5	479	321
P27	38°41'26,70"S	62°58'16,00"O	7,73	3680	2344	782,7	315	20,4	400	762	14,1	16,9	22,6	-	0,055	1,4	362	135
P28	38°39'40,70"S	62°59'41,00"O	7,67	590	435	39,9	45	6	269	33	21,8	47	30,8	-	0,013	< 1	231	244
P36	38°50'29,90"S	62°35'53,00"O	7,07	1430	910	157,7	99	0	402	87	1,2	103	55	-	0,023	1	330	483
P42	38°41'32,00"S	62°47'10,70"O	7,54	1580	1090	171,7	124	6,6	564	132	18,4	76,9	74,1	-	0,01	1,3	474	497



LANAQUI
Laboratorio de Análisis Químicos
CERZOS - CONICET - UNS



Bahía Blanca, 6 de Julio de 2021

INSTITUCIÓN Y/O EMPRESA: Dr. Matías Rey, Lab. de Hidrogeología, UNS

PROCEDENCIA Y TIPO DE MUESTRA: muestras de agua.

ANÁLISIS SOLICITADO: análisis multiparamétrico.

RESULTADOS:

Muestra	pH	CE (dS/m)	Ca (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	As (mg/L)
LE1	7,7	0,61	29,5	1,2	22,3	66,1	0,036
LM2	7,8	0,61	30,6	3,6	16,1	71,2	0,023
P11	7,6	1,14	30,4	8,4	36,8	154	0,016
P19	7,8	1,25	17,0	0,5	7,3	260	0,023
P32	7,3	6,3	134	51,9	67,8	1159	0,081
P33	7,1	3,7	76,7	35,5	61,6	610	0,216
P34	7,4	0,7	23,6	4,1	10,8	109	0,041
P41	7,3	2,3	27,2	12,7	26,3	435	0,026
P44	7,2	1,9	59,6	57,9	73,7	225	0,036

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA
TEL: 0291-4595102/ 4526533 (int. 4313)
E-mail: lanaqui@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	CO ₃	HCO ₃	Cl	Alcalinidad	Dureza	SO ₄	SDT
	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L CaCO ₃)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
LE1	8,4	273	37,9	238	165	26,5	0,271
LM2	16,2	211	49,9	200,5	142	22,1	0,273
P11	13,8	398	125	349	227	59,9	0,51
P19	28,2	381	70,9	360	73	250	0,56
P32	Libre	254	1602	208	616	930	2,99
P33	Libre	750	549	615	445	265	1,68
P34	Libre	326	69,9	267	104	23,8	0,217
P41	Libre	499	479	409	176	198	0,837
P44	Libre	915	144	750	452	91,5	0,741

Metodologías/ instrumental:

Aniones: según metodologías del "Standard Method for the Examination of Water and Wastewater". 17 edition. 1989. American Public Health Association (APHA); American Water Works Association (AWWA) y Water Pollution Control Federation (WPCF). Ed. : Díaz de Santos S.A. (1992). Determinaciones de cationes efectuadas 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, GmbH, Alemania y agua ultrapura [Water Purification Systems Millipore - Milli Q, modelo Elix Technology Inside 10 (Merck, France). Características: 0.05 μ S/cm de conductividad eléctrica - 18.2 M Ω /cm de resistividad. Sólidos disueltos totales determinados por método gravimétrico (Vol. 50 mL en estufa, Temp. 105 °C hasta sequedad total, masa constante).

Dr. Claudio Ferrarello

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA
TEL: 0291-4595102/ 4526533 (int. 4313)
E-mail: lanaqui@ciba.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, 22 de Julio de 2021

INSTITUCIÓN Y/O EMPRESA: Dr. Matías Rey, Lab. de Hidrogeología, UNS

PROCEDENCIA Y TIPO DE MUESTRA: muestras de agua.

ANÁLISIS SOLICITADO: análisis multiparamétrico.

RESULTADOS:

Muestra	pH	CE (dS/m)	Na (mg/L)	Mg (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	As (mg/L)
P20	7,85	2,25	351	34,4	16,2	69,9	0,059
P22	8,25	0,91	204	3,3	4,6	4,1	0,045
P26	7,56	2,61	402	47,5	80,6	50,4	0,078
P27	7,73	3,68	762	22,6	14,1	16,9	0,055
P28	7,67	0,59	33	30,8	21,8	47,0	0,013
P36	7,07	1,43	87	55,0	1,2	103,0	0,023
P42	7,54	1,58	132	74,1	18,4	76,9	0,01
Muestra	Dureza total (mg/L)	Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)	Cl (mg/L)	CO ₃ (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	SDT (mg/L)
P20	316	494	219,6	0	603	291	1512
P22	24	421	35,9	19,8	473	19	673
P26	321	479	415,3	7,8	568	216	1729
P27	135	362	782,7	20,4	400	315	2344
P28	244	231	39,9	6	269	45	435
P36	483	330	157,7	0	402	99	910
P42	497	474	171,7	6,6	564	124	1090

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA
TEL: 0291-4595102/ 4526533 (int. 4313)
E-mail: lanaqui@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



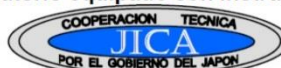
Metodologías/ instrumental:

Aniones: según metodologías del "Standard Method for the Examination of Water and Wastewater". 17 edition. 1989. American Public Health Association (APHA); American Water Works Association (AWWA) y Water Pollution Control Federation (WPCF). Ed. : Díaz de Santos S.A. (1992). Determinaciones de cationes efectuadas 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, GmbH, Alemania y agua ultrapura [Water Purification Systems Millipore - Milli Q, modelo Elix Technology Inside 10 (Merck, France). Características: 0.05 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad eléctrica - 18.2 $\text{M}\Omega/\text{cm}$ de resistividad. Sólidos disueltos totales determinados por método gravimétrico (Vol. 100 mL en estufa, Temp. 105 °C hasta sequedad total, masa constante).

Dr. Claudio Ferrarello

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA
TEL: 0291-4595102/ 4526533 (int. 4313)
E-mail: lanacui@criba.edu.ar
FAX : 0291-4595127

Laboratorio equipado con instrumental



analítico de alta precisión donado por Japón

 Departamento de Química	INFORME TECNICO				  I N Q U I S U R
	Asunto: Determinación de fluoruros solubles totales en muestras acuosas				
	Solicitante: Dr. René ALBOUY				
	Fecha: 23-9-2021	ID N°: 0182021	Versión: 02	Páginas: 1 de 3	

PROTOCOLO DE TRABAJO

INSTITUTO DE QUÍMICA DEL SUR

23 de setiembre de 2021

INSTITUTO DE QUÍMICA DEL SUR
Universidad Nacional del Sur
Departamento de Química
Alem 1253 8000 - Bahía Blanca Argentina
TE +54-291-4595101 ext.3506 FAX +54-291-4595159
inquisur@bahia blanca-conicet.gob.ar

 Departamento de Química	INFORME TECNICO				CONICET  I N Q U I S U R
	Asunto: Determinación de fluoruros solubles totales en extractos acuosos				
	Solicitante: Dr. René Albouy				
	Fecha: 23-9-2021	ID N°: 0182021	Versión: 02	Páginas: 2 de 3	

El presente informe presenta las actividades realizadas el día 23-9-2021 y reemplaza a la versión 01 del informe ID N° 0182021.

Contenido:

1-	Objetivos	3
2-	Método de análisis	3
3-	Estado de las muestras	3
4-	Resultados obtenidos	3

Elaborado por: Dra. Anabela Lorenzetti	Revisado por: Dr. Marcelo Pereyra MPCPQ N° 4545
--	--

 Departamento de Química	INFORME TECNICO				CONICET  I N Q U I S U R
	Asunto: Determinación de fluoruros solubles totales en extractos acuosos				
	Solicitante: Dr. René Albouy				
	Fecha: 23-9-2021	ID N°: 0182021	Versión: 02	Páginas: 3 de 3	

OBJETIVOS

Determinación de la concentración de fluoruros solubles totales en 16 muestras acuosas.

MUESTRAS

Las muestras fueron entregadas por el solicitante el día 31 de agosto de 2021, y fueron conservadas inmediatamente en heladera a -4°C.

MÉTODO DE ANÁLISIS

Las muestras se analizaron aplicando la metodología de referencia: Método 4500-F⁻ C del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*¹.

EQUIPAMIENTO y REACTIVOS

- Electrodo combinado selectivo de fluoruros (ISE), marca Orion.
- Soluciones de calibración: 0,25; 0,50; 1,00; 2,00; 4,00; 8,00 y 10,00 ppm de F⁻.
- Agua calidad, ultrapura, MilliQ, 18,2 MΩ.

RESULTADOS OBTENIDOS:

Muestra de agua	[F ⁻] ppm
LE1-455-1	1.4
LM2-456-2	<1ppm
P11-457-3	1.4
P19-458-4	9.9
P20-459	1.75
P32-464-6	<1 ppm
P33-465-7	<1 ppm
P34-466-8	1.1
P41-468-9	1.2
P44-470-10	1.5
P22-460	6.1
P27-462	1.4
P28-463	< 1 ppm
P42-469	1.3
P36-467	1.0
P26-459	1.5

Límite de detección = 1,0 ppm de F⁻.

¹ APHA, AWW, WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 1998, vol. 21, p. 1378.

Elaborado por:	Revisado por:
Dra. Anabela Lorenzetti	Dr. Marcelo Pereyra MPCPQ N° 4545



LANAQUI
Laboratorio de Análisis Químicos
CERZOS - CONICET - UNS



Bahía Blanca, 04 de Abril 2022

INSTITUCIÓN Y/O EMPRESA: Dr. Matias Rey. Lab. Hidrogeología, UNS

PROCEDENCIA Y TIPO DE MUESTRA: muestras de agua.

ANÁLISIS SOLICITADO: análisis multiparamétrico.

RESULTADOS:

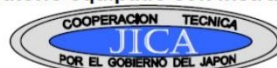
Muestra	pH	CE (dS/m)	Ca (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	SO4 (mg/L)
LL 1	6,7	0,01	3,89	0,287	0,253	1,14	2,18
LL 2	6,1	0,02	4,57	0,676	0,331	2,07	3,55
LL 4	6,6	< 0,01	0,68	0,095	0,096	0,39	0,36
LL 5	5,7	< 0,01	1,87	0,192	0,162	0,89	1,03
LL 6	6,3	< 0,01	0,46	0,057	0,072	0,15	0,51
Muestra	Alcalinidad (mg/L)	Dureza (mg/L CaCO3)	TSD (mg/L)	CO3 (mg/L)	HCO3 (mg/L)	Cl (mg/L)	
LL 1	14,1	10,7	< 0,01	< 0,1	10,5	2,9	
LL 2	24,6	12,8	< 0,01	< 0,1	14,3	4,4	
LL 4	9,2	2,1	< 0,01	< 0,1	3,1	1,1	
LL 5	15,1	5,3	< 0,01	< 0,1	5,1	3,1	
LL 6	16,4	1,4	< 0,01	< 0,1	1,7	1,2	

Metodologías/ instrumental:

Aniones: según metodologías del "Standard Method for the Examination of Water and Wastewater", 17 edition, 1989. American Public Health Association (APHA); American Water Works Association (AWWA) y Water Pollution Control Federation (WPCF). Ed.: Díaz de Santos S.A. (1992). Determinaciones de cationes efectuadas 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, GmbH, Alemania y agua ultrapura [Water Purification Systems Millipore - Milli Q, modelo Elix Technology Inside 10 (Merck, France). Características: 0.05 Ω S/cm de conductividad eléctrica - 18.2 M Ω /cm de resistividad.

Dr. Claudio Ferrarello

Laboratorio equipado con instrumental



analítico de alta precisión donado por Japón

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA
TEL: 0291-4595102/ 4526533 (int. 4313)
E-mail: lanaqui@ciba.edu.ar
FAX : 0291-4595127



LANAQUI
Laboratorio de Análisis Químicos
CERZOS - CONICET - UNS



Bahía Blanca, 03 de abril de 2023

INSTITUCIÓN Y/O EMPRESA: Dr. Matias Rey. Lab. Hidrogeología, UNS

PROCEDENCIA Y TIPO DE MUESTRA: muestras de agua.

ANÁLISIS SOLICITADO: análisis multiparamétrico.

RESULTADOS:

Muestra	pH	CE	Ca	K	Mg	Na	SO4
		(dS/m)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
LL 7	7,30	0,047	6,78	0,34	0,257	0,98	1,77
LL 8	6,30	0,043	6,58	0,25	0,195	0,36	1,28
LL 9	5,70	0,016	1,35	0,19	0,163	0,73	0,47
LL 10	5,30	0,010	1,56	0,19	0,090	0,42	0,74
Muestra	Alcalinidad	Dureza	TSD	CO3	HCO3	Cl	
	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	
LL 7	16,6	18,1	29,4	< 0,1	20,1	4,2	
LL 8	13,9	17,2	26,9	< 0,1	17,1	4,7	
LL 9	7,5	4,1	10,1	< 0,1	9,2	3,5	
LL 10	6,6	4,3	6,2	< 0,1	7,8	3,5	

Metodologías/ instrumental:

Aniones: según metodologías del "Standard Method for the Examination of Water and Wastewater". 17th edition, 1989. American Public Health Association (APHA); American Water Works Association (AWWA) y Water Pollution Control Federation (WPCF). Ed.: Díaz de Santos S.A. (1992). Determinaciones de cationes efectuadas 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, Zedelgen B-8210, Bélgica, ácido nítrico previamente ultrapurificado (sub-boiled) mediante un destilador Berghof destillation BSB-939-IR, GmbH, Alemania y agua ultrapura (Water Purification Systems, Millipore - Milli Q, modelo Elix Technology Inside 10 (Merck, France). Características: 0.05 $\square$ S/cm de conductividad eléctrica - 18.2 M $\square$ /cm de resistividad.

Dr. Claudio Ferrarello

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA
TEL: 0291-4595102/ 4526533 (int. 4313)
E-mail: lanaqui@ciba.edu.ar
FAX: 0291-4595127

Laboratorio equipado con instrumental



analítico de alta precisión donado por Japón

Anexo III

Planilla de censo de puntos de agua

Rey, M. "Hidrogeología de la cadena de médanos continentales del sector septentrional del partido de Villarino, en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires

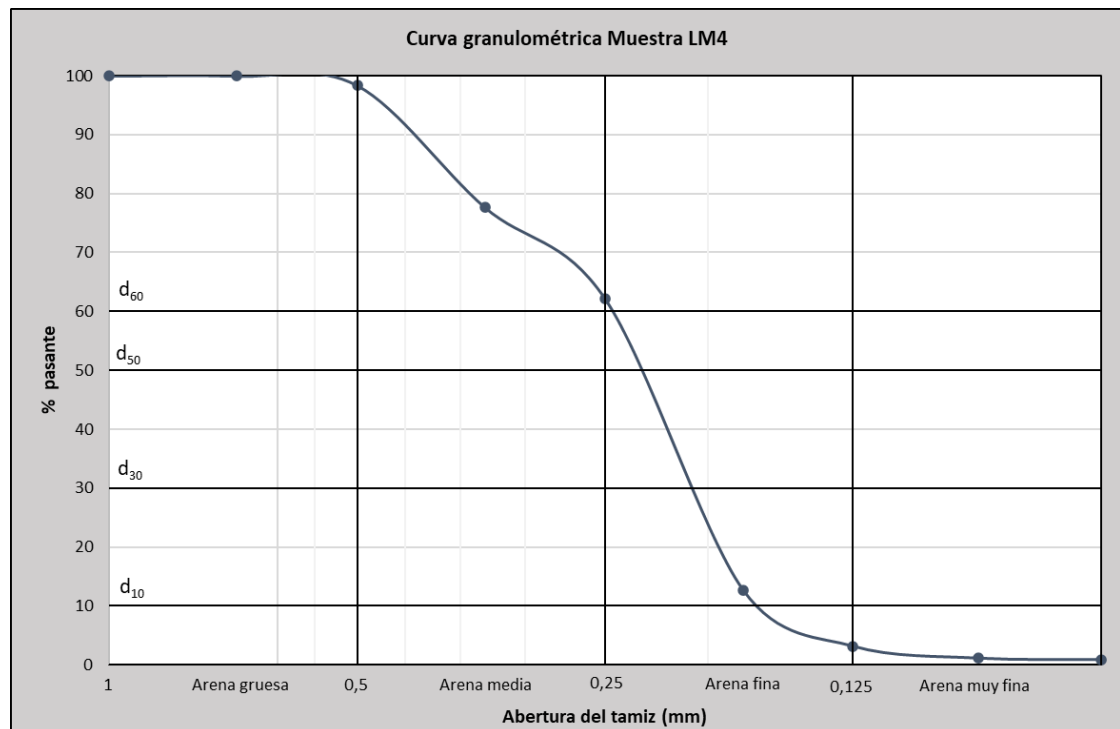
Nombre	Latitud	Longitud	Cota (m)	Prof. NF (mbbp)	Nivel Piez. (msnm)	Profundidad de pozo (m)	T (°C)	pH	CE (µS/cm)	TDS (ppm)	Observaciones
SC1	38°40'13,14"S	62°59'43,02"O	-17,22	-	-	-	-	-	-	-	Perforación del trabajo de Salinas Chicas de Albouy et al.
SC2	38°40'9,48"S	62°59'43,02"O	-16,33	0,7	-17,03	-	-	-	1070	714	Perforación del trabajo de Salinas Chicas de Albouy et al.
SC3	38°40'7,02"S	62°59'35,64"O	-16,54	0,4	-16,94	-	-	-	995	664	Perforación del trabajo de Salinas Chicas de Albouy et al.
SC4	38°40'18,30"S	62°59'17,52"O	-17,5	0,65	-18,15	-	-	-	2000	1335	Perforación del trabajo de Salinas Chicas de Albouy et al.
SC5	38°40'29,88"S	62°59'22,92"O	-19,24	0,9	-20,14	-	-	-	1600	1067	Perforación del trabajo de Salinas Chicas de Albouy et al.
LE1	38°46'25,7"S	62°48'04,50"O	34,33	8,87	25,46	14,25	20,5	8,1	516	344	Pozo bombeando actualmente (1,5 HP), el NF medido es con pozo parado. Se toma muestra para análisis.
LE2	38°46'27,97"S	62°48'00,07"O	33,2	7,8	25,4	21	-	-	-	-	-
LE3	38°46'28,39"S	62°47'53,78"O	33,58	7,8	25,78	13,7	-	-	-	-	-
LE4	38°46'30,72"S	62°47'52,72"O	32,87	7,43	25,44	12-14 (comunicación ABSA)	-	-	-	-	Parado con bomba (1,5 HP).
LE5	38°46'33,70"S	62°47'46,00"O	33,13	6,93	26,2	9,15 (pero tiene mucho sedimento en el fondo, limpio son 12)	-	-	-	-	Sin bomba. Coloca freatímetro el 22/4/21.
LE6	38°46'33,61"S	62°47'34,08"O	35,16	9,8	25,36	15,5	-	-	-	-	-
LE7	38°46'36,64"S	62°47'29,48"O	33,76	9,25	24,51	12,4	-	-	-	-	-
LE8	38°46'38,72"S	62°47'26,54"O	34,99	10,05	24,94	17,5	-	-	-	-	-
LE9	38°46'40,34"S	62°47'23,28"O	36,01	11,25	24,76	11,77 (pero limpio son 13,5)	-	-	-	-	Sin bomba.
LE10	38°46'45,59"S	62°47'17,20"O	35,02	10,7	24,32	17,35	-	-	-	-	-
LE11	38°46'47,57"S	62°47'11,36"O	36,48	-	-	12-14 (comunicación ABSA)	20,7	7,6	584	389	Pozo bombeando (1,5 HP), no se mide NF.
LE12	38°46'52,66"S	62°47'01,26"O	35,53	9,65	25,88	14	-	-	-	-	-
LE13	38°46'52,22"S	62°48'06,28"O	34,62	-	-	12-14 (comunicación ABSA)	-	-	-	-	No se censó (pozo bombeando con sumergible).
LE14	38°46'24,10"S	62°48'08,50"O	33,51	8,26	25,25	13,52	-	-	-	-	Sin bomba.
LE15	38°46'22,97"S	62°48'11,62"O	32,92	7,75	25,17	14,1	-	-	-	-	-
LE16	38°46'21,38"S	62°48'14,36"O	33,05	7,25	25,8	14	-	-	-	-	-
LE17	38°46'19,16"S	62°48'16,73"O	35	7,45	27,55	14	-	-	-	-	-
LE18	38°46'17,91"S	62°48'19,40"O	35,02	8,05	26,97	10,57	-	-	-	-	-
LE19	38°46'17,42"S	62°48'22,97"O	32,99	9,4	23,59	14,2	-	-	-	-	-
LE20	38°46'16,06"S	62°48'25,25"O	35,1	8,7	26,4	13,1	-	-	-	-	-
LM1	38°47'00,20"S	62°38'41,40"O	21,1	10,67	10,43	34,52 (fondo con sedimento)	-	-	-	-	Sin bomba.
LM2	38°46'58,90"S	62°38'38,80"O	20,15	-	-	35 (comunicación ABSA)	20,4	7,9	587	391	Pozo bombeando (3 HP), no se mide NF. Se toma muestra para análisis.
LM3	38°46'56,38"S	62°38'30,64"O	17,83	-	-	35 (comunicación ABSA)	-	-	-	-	Pozo bombeando (3 HP)
LM4	38°46'54,80"S	62°38'25,80"O	18,07	6,85	11,22	35 (comunicación ABSA)	-	-	-	-	Parado con bomba (3 HP). Muestra de arena superficial.
ABSA1	38°49'08,50"S	62°41'44,30"O	33	-	-	30 (comunicación ABSA)	22,5	8,05	1940	1292	Pozo bombeando, no se mide NF. Se toma muestra para análisis.
LMo1	38°46'33,60"S	62°47'46,00"O	30,63	-	-	30-35 (comunicación ABSA)	20,4	8,5	1212	807	Pozo bombeando (0,75 HP), no se mide NF.
P1	38°44'27,90"S	62°48'59,00"O	29,1	-	-	5,5	-	-	-	-	Molino. Pozo seco. Eta. Don Julio.
P2	38°44'52,10"S	62°48'34,90"O	31,57	-	-	-	20,7	7,27	936	627	Molino. Toca sonda a los 4,60 m y no baja más. Toma muestra. Eta. Don Julio.
P3	38°45'12,30"S	62°49'54,40"O	31,63	-	-	-	20,6	7,3	408	272	Molino. Pozo cerrado con tapa (no se mide). Toma muestra. Eta. Don Julio.
P4	38°48'28,40"S	62°40'57,00"O	31,8	9,3	22,5	-	-	-	-	-	Molino fuera de servicio. No se puede tomar muestra.
P5	38°47'58,50"S	62°40'16,60"O	30,86	10,85	20,01	>41 m	-	-	-	-	Molino fuera de servicio. No se puede tomar muestra.
P6	38°42'19,70"S	62°56'15,90"O	-20,15	6,17	-26,32	-	20,7	7,43	567	382	Bomba sumergible. Eta. Los Álamos. Toma muestra.
P7	38°42'27,20"S	62°57'18,90"O	-28,89	-	-	-	20,8	7,62	1896	1262	NF inaccesible (molino con cilindro cerrado). Toma muestra. Eta. Los Álamos. Corral cerca.
P8	38°42'46,40"S	62°55'59,00"O	-26,72	>14	<-40,72	-	21	7,23	618	412	Molino. Sonda no bajo más de 14 m. Zona alta. Toma muestra. TDS 412 ppm. Eta. Los Álamos (zona alta).
P9	38°42'57,10"S	62°55'31,30"O	-32,12	0	-32,12	-	-	-	-	-	NF Aflorante (humedal) en zona baja. No toma muestra. Eta. Los Álamos.
P10	38°43'01,90"S	62°55'11,00"O	-28,66	0	-28,66	-	19	7,8	385	256	NF Aflorante (humedal) en zona baja. No toma muestra. TDS 256 ppm. Eta. Los Álamos.
P11	38°42'10,10"S	62°55'22,80"O	-11,38	2 a 3 (inferido)	-14,38 (inferido)	-	20,1	7,7	970	646	NF inaccesible (molino con cilindro en sup). Toma muestra. Posible zona de descarga interduna. Eta. Los Álamos.

P12	38°47'07.00"S	62°48'54.70"O	33.16	> 10 (inferido)	< 23,16	-	21,3	8,2	1460	980	NF inaccesible (molino cerrado). Se infiere NF > 10 m por la excavación al lado de la cantera. Toma muestra.
P13	38°49'24.20"S	62°42'41.40"O	31.64	6,86	24,78	-	21,7	8,35	1985	1325	Molino. Toma muestra.
P14	38°48'49.20"S	62°42'11.00"O	31.71	8,5	23,21	-	21,6	8,4	1480	983	Molino. Toma muestra (de tanque).
P15	38°47'54.20"S	62°40'26.90"O	31.69	-	-	-	20,6	7,91	684	468	Pozo con bba. Sumergible cerrado. No se puede medir NF. Toma muestra. Viviero de Médanos.
P16	38°50'32.10"S	62°30'01.30"O	5.32	2,13	3,19	-	-	-	-	-	Molino roto. No se puede tomar muestra.
P17	38°51'52.20"S	62°29'11.40"O	11.17	> 8 (inferido)	< 3,17	-	-	-	-	-	Molino roto. No se puede tomar muestra. Sonda no pasa más de 8 m.
P18	38°53'09.80"S	62°29'08.40"O	18.37	> 8 (inferido)	< 10,37	-	20,5	7,5	1986	1318	Molino con antepozo de 8 m seco y cilindro cerrado. SE toma muestra.
P19	38°52'44.00"S	62°29'49.90"O	20.32	-	-	-	20,8	7,85	1148	764	No se puede medir NF (pozo cerrado). Toma muestra de tanque.
P20	38°46'27.34"S	62°36'27.80"O	14.87	5 (comunicado)	9,87	-	20,4	7,65	1806	1200	Viviero de Argerich. Molino con cilindro cerrado. Toma muestra de pozo con bba. Sumergible al lado.
P21	38°48'36.20"S	62°41'59.20"O	36.42	13,55	22,87	-	-	-	-	-	Pozo viejo sin bomba (solo encamisado). No se puede tomar muestra.
P22	38°47'28.70"S	62°44'52.50"O	32.71	5	27,71	-	19	8,85	847	565	Campo Piergentili. NF comunicado (sonda no pasa). Toma muestra.
P23	38°47'42.70"S	62°46'12.20"O	28.74	6	22,74	-	18,8	7,75	6860	4580	Campo Piergentili. NF comunicado (sonda no pasa). Toma muestra. Sabor amargo en el agua.
P24	38°46'07.50"S	62°49'33.40"O	33.1	5	28,1	-	19,1	8,15	511	340	Campo Piergentili. NF comunicado (sonda no pasa). Toma muestra.
P25	38°37'30.30"S	62°58'44.50"O	0.38	1,5	-1,12	-	-	-	-	-	Campo Piergentili. Molino cerrado.
P26	38°40'34.80"S	62°58'21.10"O	-15.81	3	-18,81	-	19,3	7,7	2430	1610	Campo Néstor Teplitz. Cilindro cerrado en superficie. Toma muestra.
P27	38°41'26.70"S	62°58'16.00"O	-20.35	2-3	-22,35 a -23,35	-	19,2	8,05	3490	2320	Campo Néstor Teplitz. Cilindro cerrado en superficie. Toma muestra.
P28	38°39'40.70"S	62°59'41.00"O	-15.68	3,33	-19,01	-	18,9	7,2	500	338	Campo Néstor Teplitz. Toma muestra de agua y sedimento.
P29	38°52'11.30"S	62°37'18.40"O	27.3	-	-	-	19	7,76	1745	1164	NF inaccesible (molino cerrado). Toma muestra.
P30	38°45'05.20"S	62°35'31.90"O	11.22	-	-	20 m aproximadamente	16,1	7,66	9090	6080	Campo Pablo Martín. NF inaccesible (molino cerrado) Toma muestra.
P31	38°44'34.80"S	62°35'51.90"O	6.55	-	-	100 m aproximadamente	18,3	7,9	5440	3630	Campo Pablo Martín. Pozo surgente.
P32	38°44'41.30"S	62°36'15.20"O	11.92	4,87	7,05	24	12,9	7,57	6240	4170	Campo Pablo Martín. Molino. Toma muestra de agua y arena.
P33	38°44'21.90"S	62°42'48.10"O	17.05	1	16,05	30	17,1	7,43	3410	2280	Campo Los Médanos. Toma muestra de agua y arena. Agua con coloración amarillada. Hay un ojo de agua a pocos metros.
P34	38°49'36.00"S	62°34'37.20"O	25.53	9	16,53	18	19,6	7,66	582	389	Eta. La Esmeralda. Pozo sin bomba. Toma muestra (tanque).
P35	38°50'11.70"S	62°35'32.40"O	26.71	8,05	18,66	-	19,8	7,34	597	398	Eta. La Esmeralda. Toma muestra de agua y sedimento.
P36	38°50'29.90"S	62°35'53.00"O	28.66	9,6	19,06	-	18,9	7,09	1263	841	Eta. La Esmeralda. Molino. Toma muestra.
P37	38°50'07.80"S	62°36'42.60"O	-	-	-	-	19,2	7,95	958	639	Eta. La Esmeralda. NF inaccesible (molino cerrado). Toma muestra.
P38	38°49'38.80"S	62°37'14.00"O	28.26	> 9,20	< 19,06	-	19	7,08	1553	1035	Eta. La Esmeralda. Molino con antepozo de 9,20 m seco. Toma muestra.
P39	38°49'43.00"S	62°37'54.30"O	-	-	-	-	18,8	7,4	973	648	Eta. La Esmeralda. Molino con NF inaccesible (cerrado). Toma muestra.
P40	38°41'06.70"S	62°49'17.40"O	15.02	5,9	9,12	-	18,8	7,62	1671	1113	Eta. La Tapera. Molino. Toma muestra.
P41	38°39'35.70"S	62°54'24.20"O	-2,2	4,3	-6,5	-	19,3	7,82	1928	1290	Eta. Los Surgentes. Molino. Toma muestra.
P42	38°41'32.00"S	62°47'10.70"O	7.65	2,5	5,15	8	18,9	7,84	1930	1287	Campo de Pellejero. Toma muestra. Encuentran arcilla rojiza a los 8 m de profundidad. Toma muestra.
P43	38°42'06.60"S	62°46'51.60"O	-	-	-	8	18,7	7,61	1852	1237	Campo de Pellejero. NF inaccesible (molino cerrado). Toma muestra.
P44	38°42'39.80"S	62°47'53.60"O	21.83	2,5	19,33	8	19	7,4	1616	1077	Campo de Pellejero. Molino. Toma muestra.
P45	38°42'29.00"S	62°48'10.00"O	17.5	2,3	15,2	8	19,1	7,32	591	395	Campo de Pellejero. Toma muestra de agua y sedimento.
P46	38°42'18.40"S	62°45'08.40"O	-	-	-	10	19,3	7,42	4060	2700	Campo de Pellejero. NF inaccesible (molino cerrado). Toma muestra. En esta captación perforaron unos metros en arcilla.
O1	38°47'58.60"S	62°35'7.48"O	9.98	0	9,98	-	-	-	-	-	Ojo de agua.
O2	38°46'03.83"S	62°39'29.28"O	17.03	0	17,03	-	-	-	-	-	Ojo de agua.
O3	38°48'17.77"S	62°33'54.12"O	5.75	0	5,75	-	-	-	-	-	Ojo de agua.

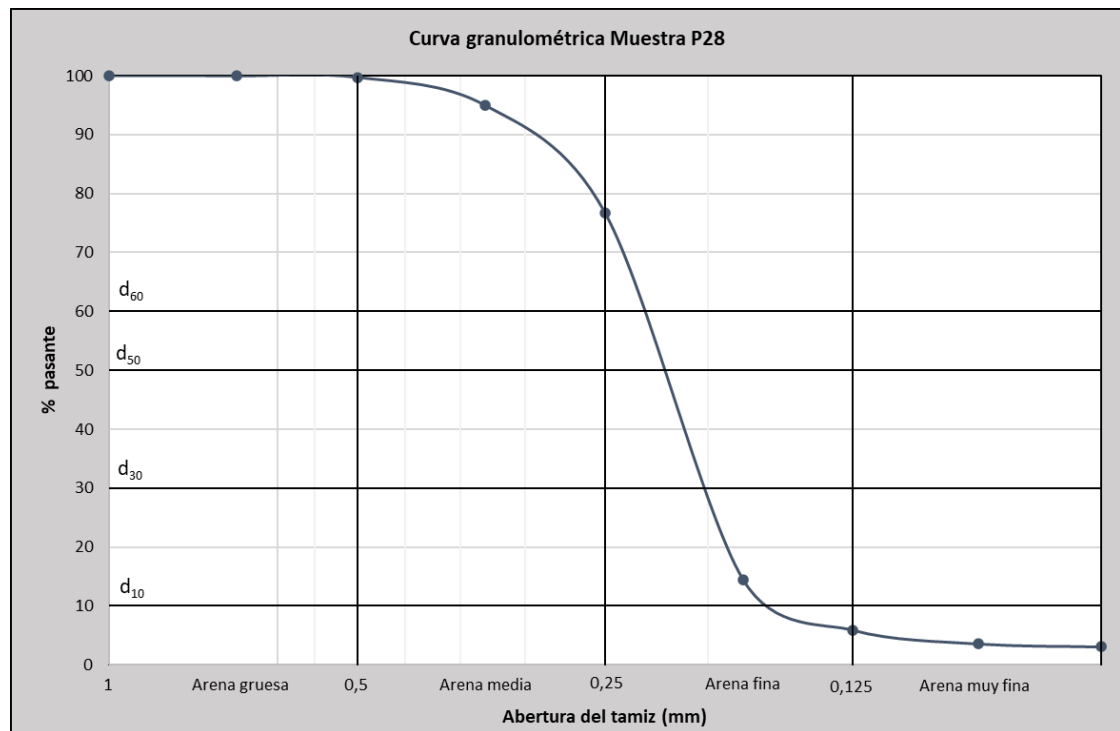
Anexo IV

Curvas granulométricas de muestras de sedimento del área de estudio

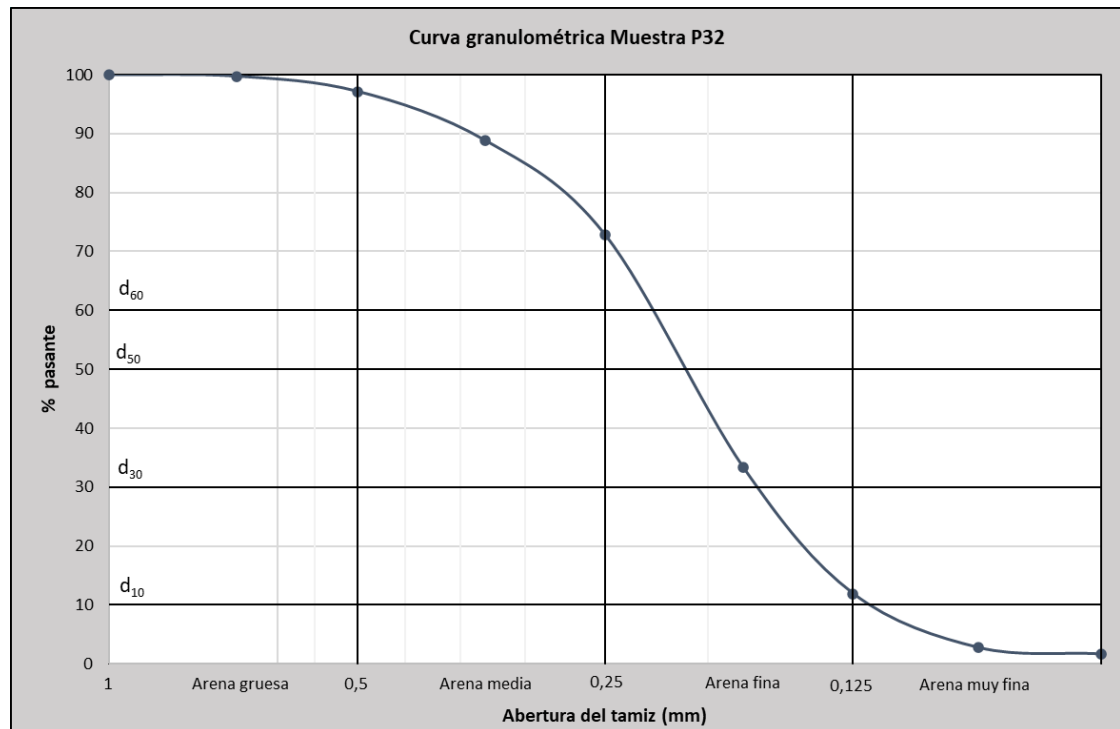
Nombre de la muestra	LM4	Peso total de la muestra (g)	95,35			
Escala Phi (Φ)	# de Tamiz (ASTM)	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasante
0	18	1	0	0	0	100
0,5	25	0,7	0,04	0,04	0,04	99,96
1	35	0,5	1,51	1,59	1,63	98,37
1,5	45	0,35	19,66	20,69	22,33	77,67
2	60	0,25	14,75	15,53	37,85	62,15
2,5	-	0,17	46,94	49,41	87,26	12,74
3	120	0,125	9,08	9,56	96,82	3,18
3,5	-	0,088	1,94	2,04	98,86	1,14
4	230	0,0625	0,23	0,24	99,11	0,89
Fondo	-	-	0,85	0,89	100,00	-
Total			95	100		



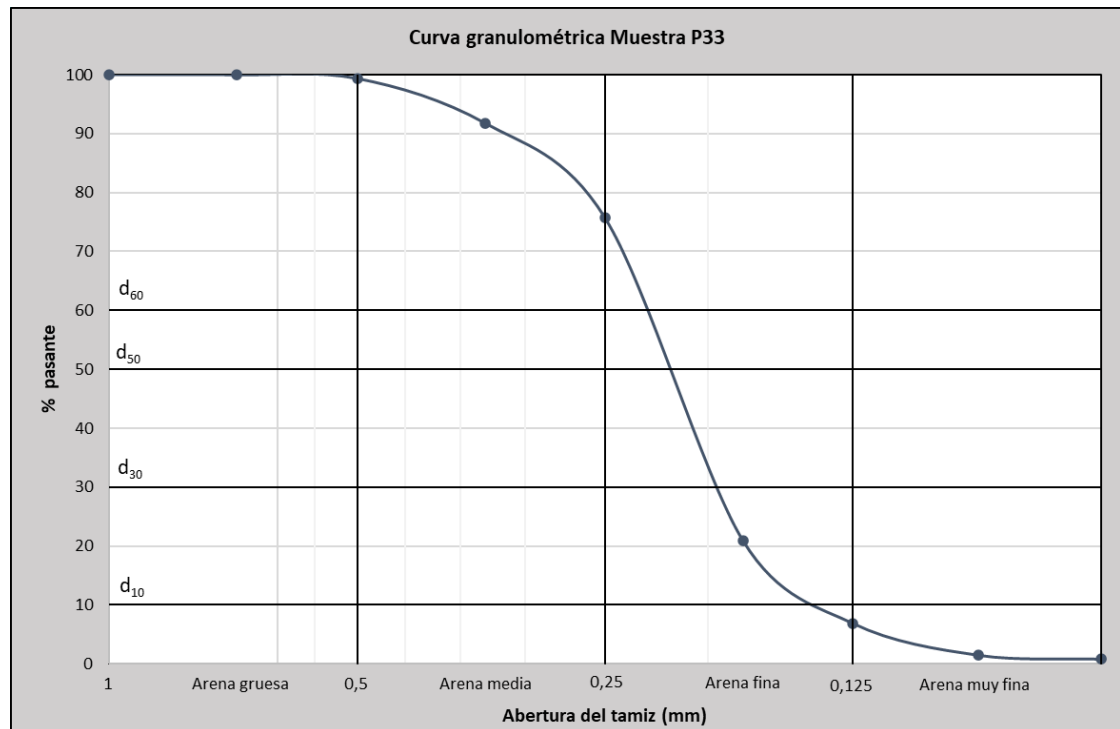
Nombre de la muestra	P28	Peso total de la muestra (g)	83,39			
Escala Phi (Φ)	# de Tamiz (ASTM)	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasante
0	18	1	0	0	0	100
0,5	25	0,7	0,01	0,01	0,01	99,99
1	35	0,5	0,21	0,25	0,27	99,73
1,5	45	0,35	3,92	4,73	4,99	95,01
2	60	0,25	15,17	18,30	23,30	76,70
2,5	-	0,17	51,56	62,20	85,50	14,50
3	120	0,125	7,14	8,61	94,11	5,89
3,5	-	0,088	1,94	2,34	96,45	3,55
4	230	0,0625	0,42	0,51	96,96	3,04
Fondo	-	-	2,52	3,04	100,00	-
Total			82,89	100		



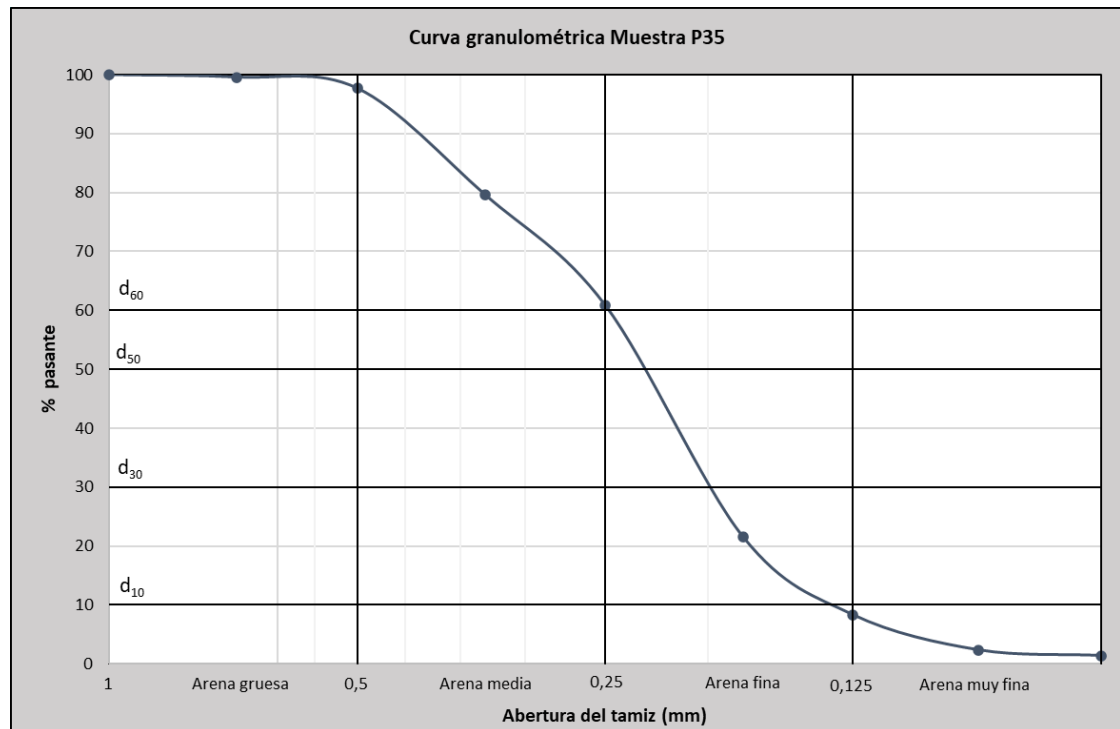
Nombre de la muestra	P32	Peso total de la muestra (g)	86,47			
Escala Phi (Φ)	# de Tamiz (ASTM)	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasante
0	18	1	0	0	0	100
0,5	25	0,7	0,23	0,27	0,27	99,73
1	35	0,5	2,2	2,56	2,83	97,17
1,5	45	0,35	7,13	8,30	11,12	88,88
2	60	0,25	13,81	16,07	27,19	72,81
2,5	-	0,17	33,87	39,41	66,60	33,40
3	120	0,125	18,45	21,47	88,07	11,93
3,5	-	0,088	7,9	9,19	97,27	2,73
4	230	0,0625	0,94	1,09	98,36	1,64
Fondo	-	-	1,41	1,64	100,00	-
Total			85,94	100		



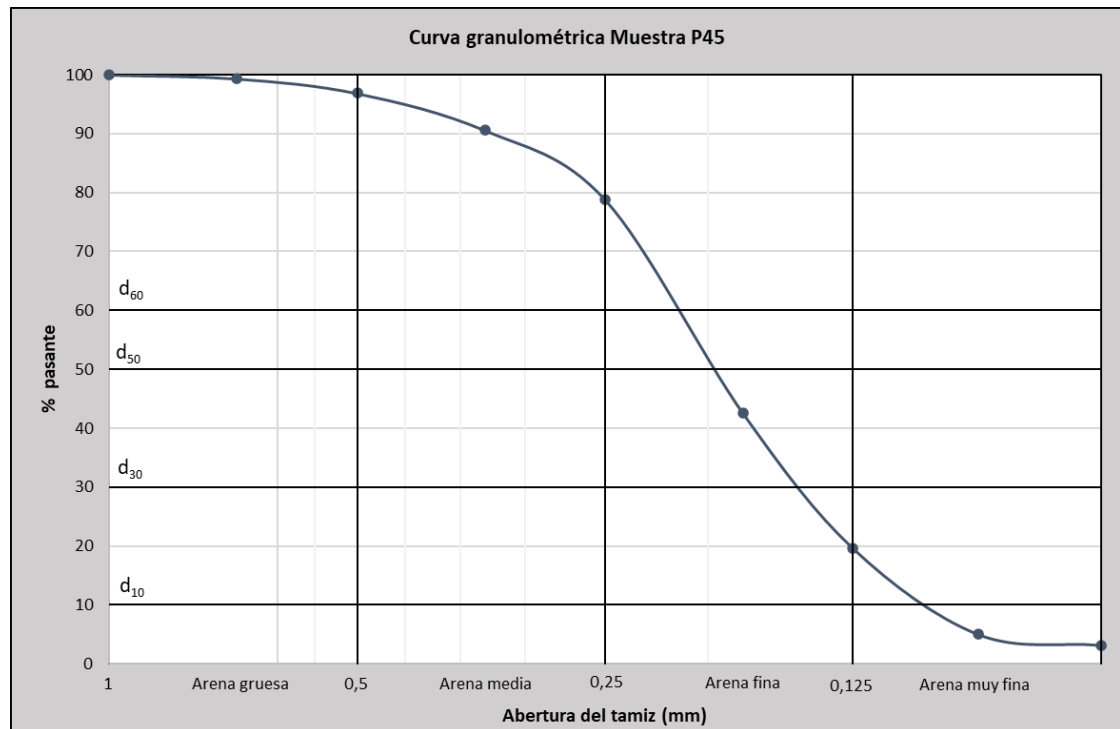
Nombre de la muestra	P33	Peso total de la muestra (g)	87,90			
Escala Phi (Φ)	# de Tamiz (ASTM)	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasante
0	18	1	0	0	0	100
0,5	25	0,7	0,04	0,05	0,05	99,95
1	35	0,5	0,54	0,62	0,66	99,34
1,5	45	0,35	6,62	7,56	8,22	91,78
2	60	0,25	14,12	16,12	24,34	75,66
2,5	-	0,17	47,96	54,74	79,08	20,92
3	120	0,125	12,28	14,02	93,09	6,91
3,5	-	0,088	4,74	5,41	98,50	1,50
4	230	0,0625	0,58	0,66	99,17	0,83
Fondo	-	-	0,73	0,83	100,00	-
Total			87,61	100		



Nombre de la muestra	P35	Peso total de la muestra (g)	79,36			
Escala Phi (Φ)	# de Tamiz (ASTM)	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasante
0	18	1	0	0	0	100
0,5	25	0,7	0,33	0,42	0,42	99,58
1	35	0,5	1,5	1,89	2,31	97,69
1,5	45	0,35	14,32	18,05	20,36	79,64
2	60	0,25	14,9	18,78	39,14	60,86
2,5	-	0,17	31,21	39,34	78,47	21,53
3	120	0,125	10,49	13,22	91,69	8,31
3,5	-	0,088	4,73	5,96	97,66	2,34
4	230	0,0625	0,77	0,97	98,63	1,37
Fondo	-	-	1,09	1,37	100,00	-
Total			79,34	100		



Nombre de la muestra	P45	Peso total de la muestra (g)	93,36			
Escala Phi (Φ)	# de Tamiz (ASTM)	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasante
0	18	1	0	0	0	100
0,5	25	0,7	0,6	0,65	0,65	99,35
1	35	0,5	2,3	2,49	3,14	96,86
1,5	45	0,35	5,8	6,27	9,41	90,59
2	60	0,25	10,89	11,77	21,18	78,82
2,5	-	0,17	33,53	36,25	57,43	42,57
3	120	0,125	21,2	22,92	80,35	19,65
3,5	-	0,088	13,53	14,63	94,98	5,02
4	230	0,0625	1,69	1,83	96,81	3,19
Fondo	-	-	2,95	3,19	100,00	-
Total			92,49	100		



Anexo V

Imágenes de Resistividad Eléctrica (IRE)



Imagen de Resistividad Eléctrica - Las Escobas 1



INICIO:
38°46'33.90"S
62°47'45.10"O

FINAL:
38°46'36.00"S
62°47'39.80"O

LONGITUD:
141 m

ARREGLO:
Wenner Alfa

DISTANCIA ENTRE ELEC.:
3 m

UBICACIÓN:

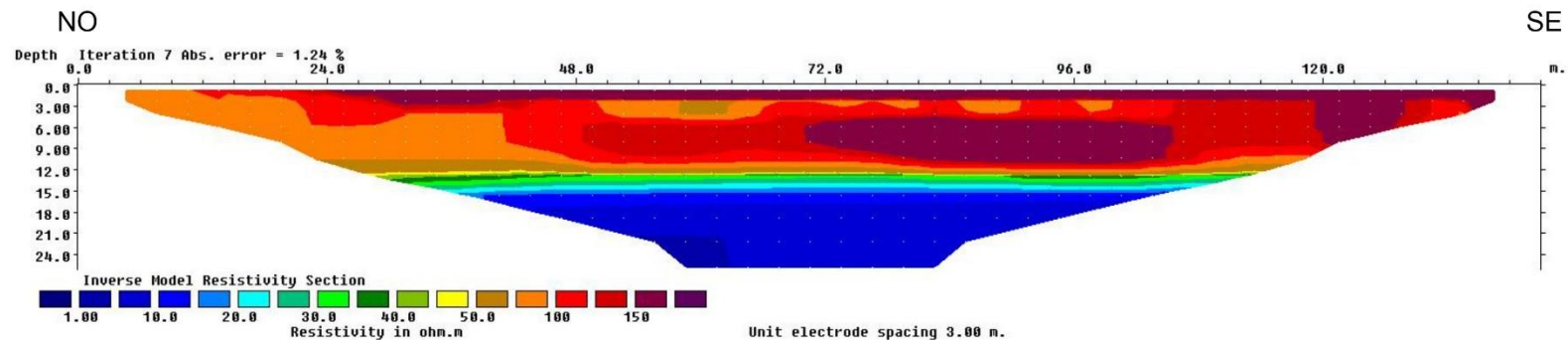




Imagen de Resistividad Eléctrica - Las Escobas 2



INICIO:
38°46'32.00"S
62°47'44.90"O

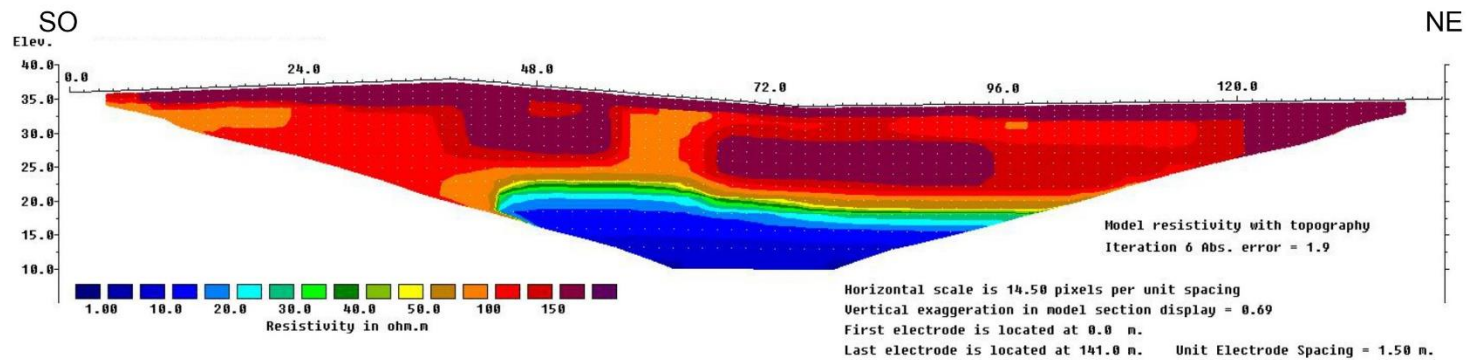
FINAL:
38°46'28.90"S
62°47'40.60"O

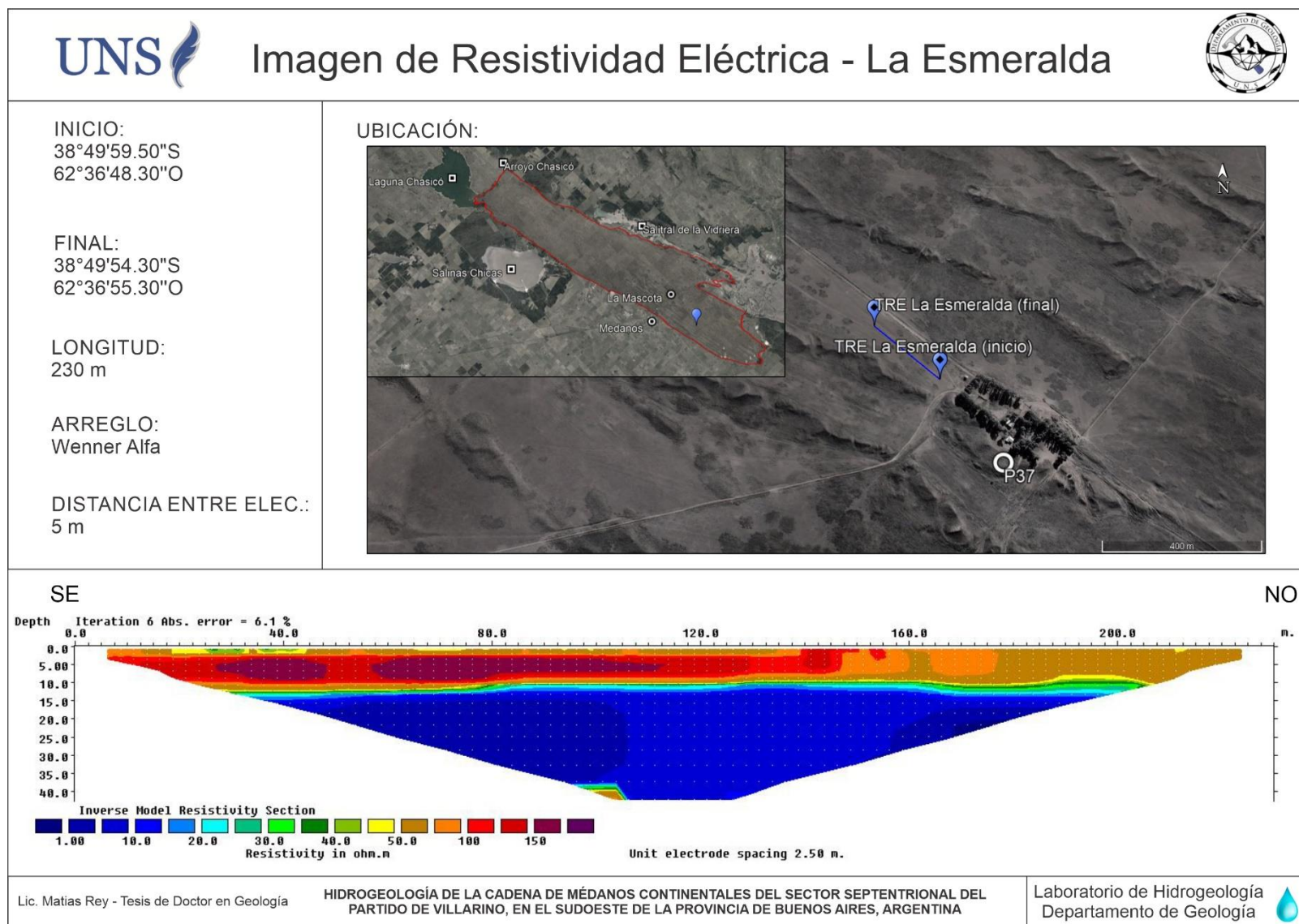
LONGITUD:
141 m

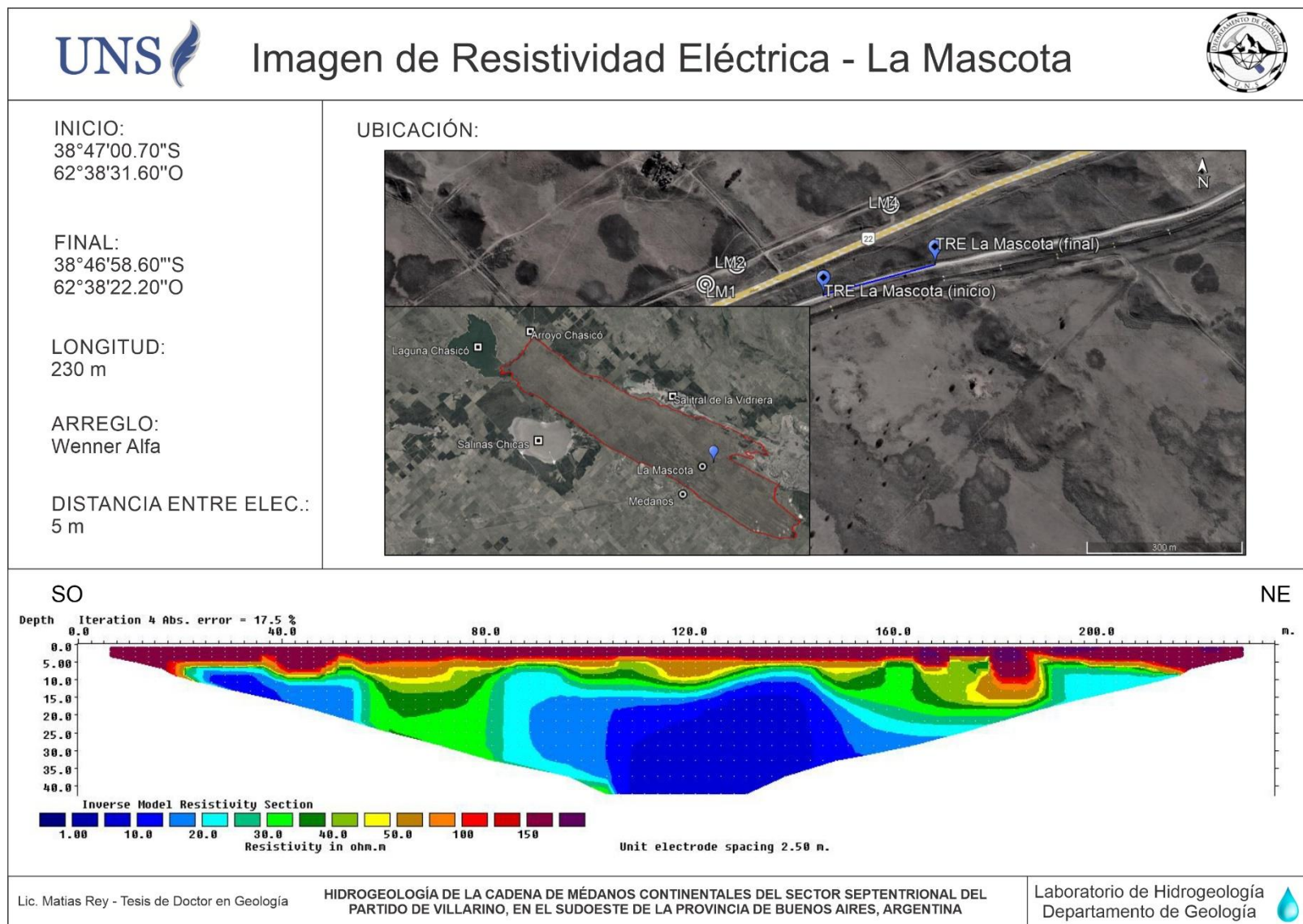
ARREGLO:
Wenner Alfa

DISTANCIA ENTRE ELEC.:
3 m

UBICACIÓN:







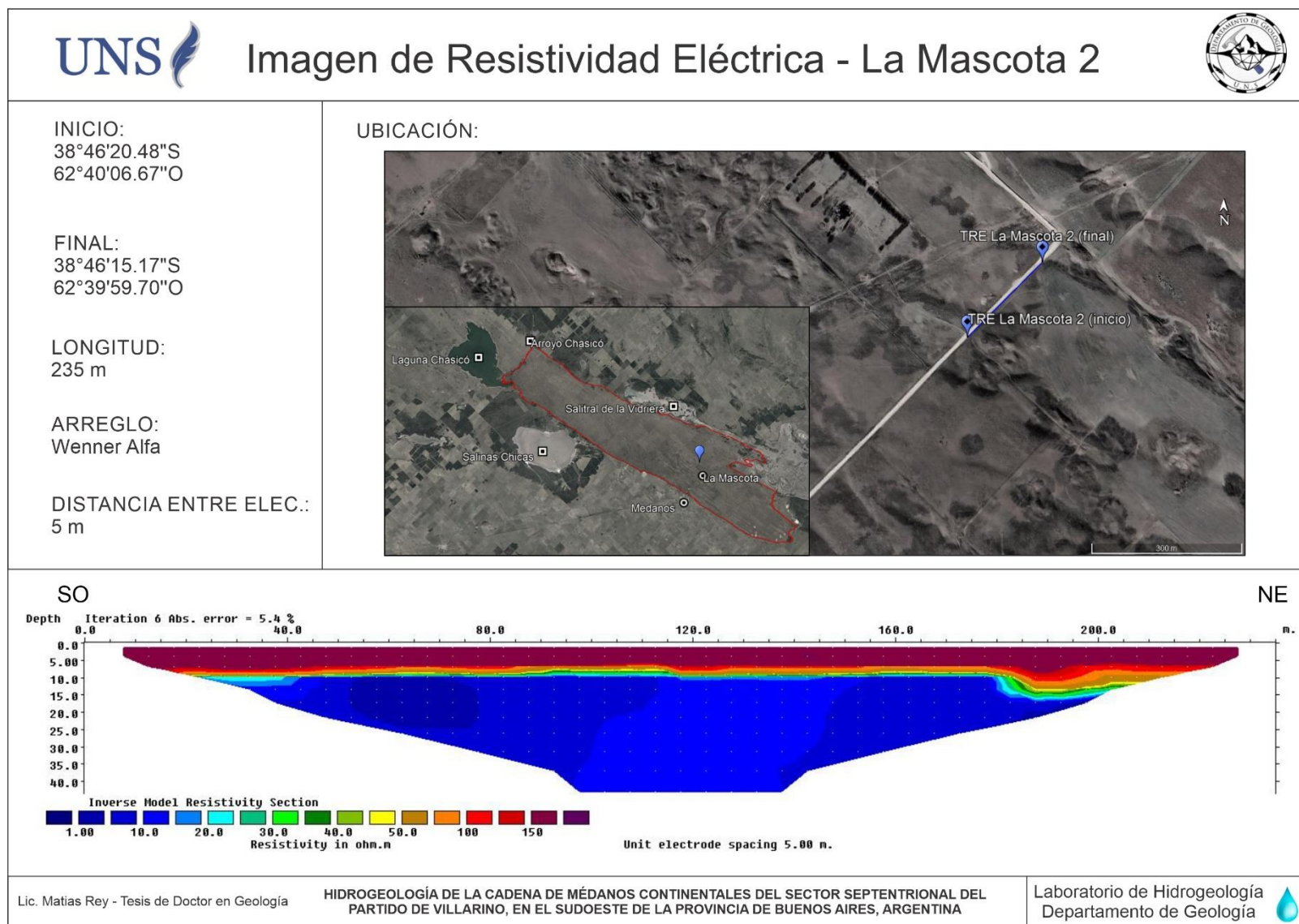




Imagen de Resistividad Eléctrica - Campo Los Médanos



INICIO:
38°42'02.90"S
62°42'43.30"O

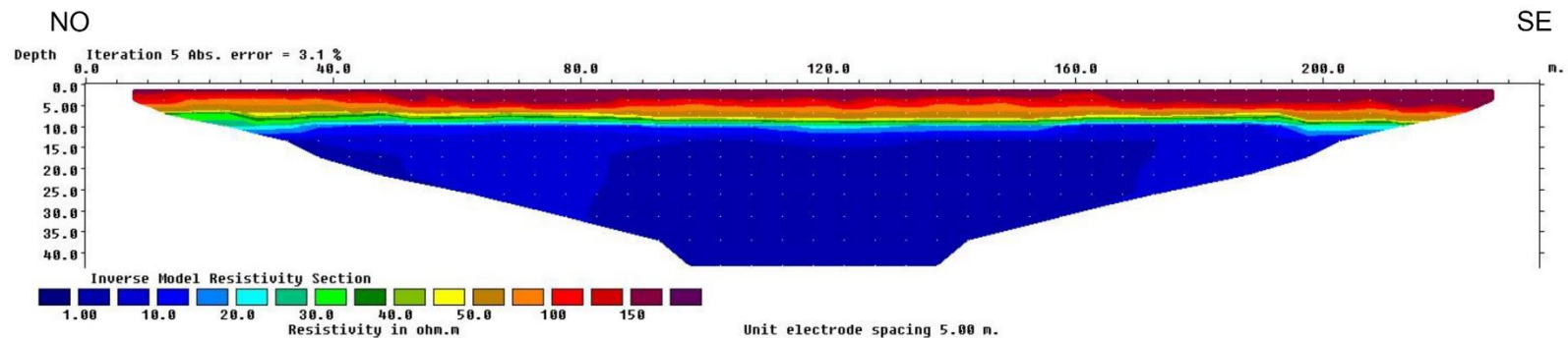
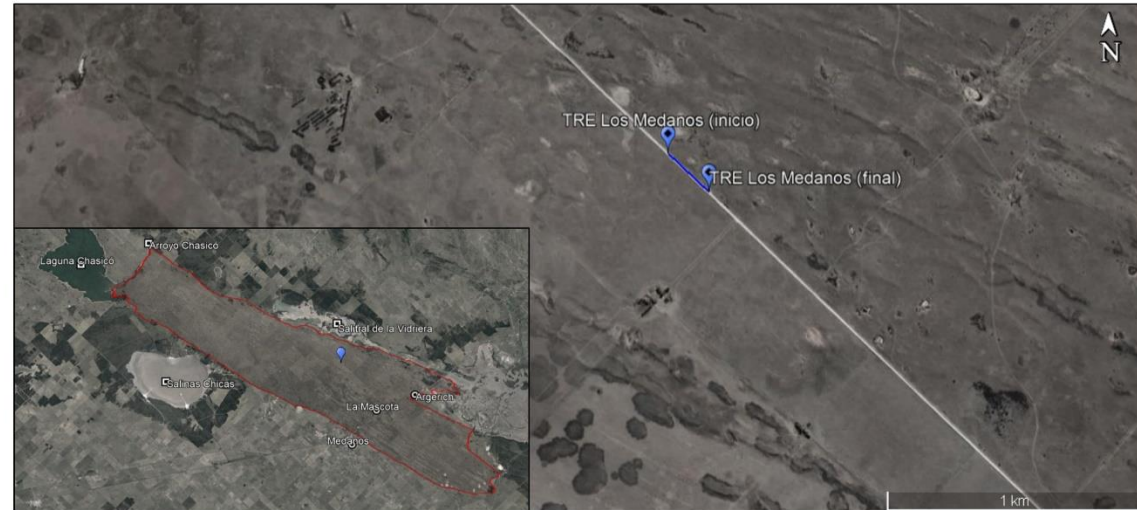
FINAL:
38°44'08.30"S
62°42'36.40"O

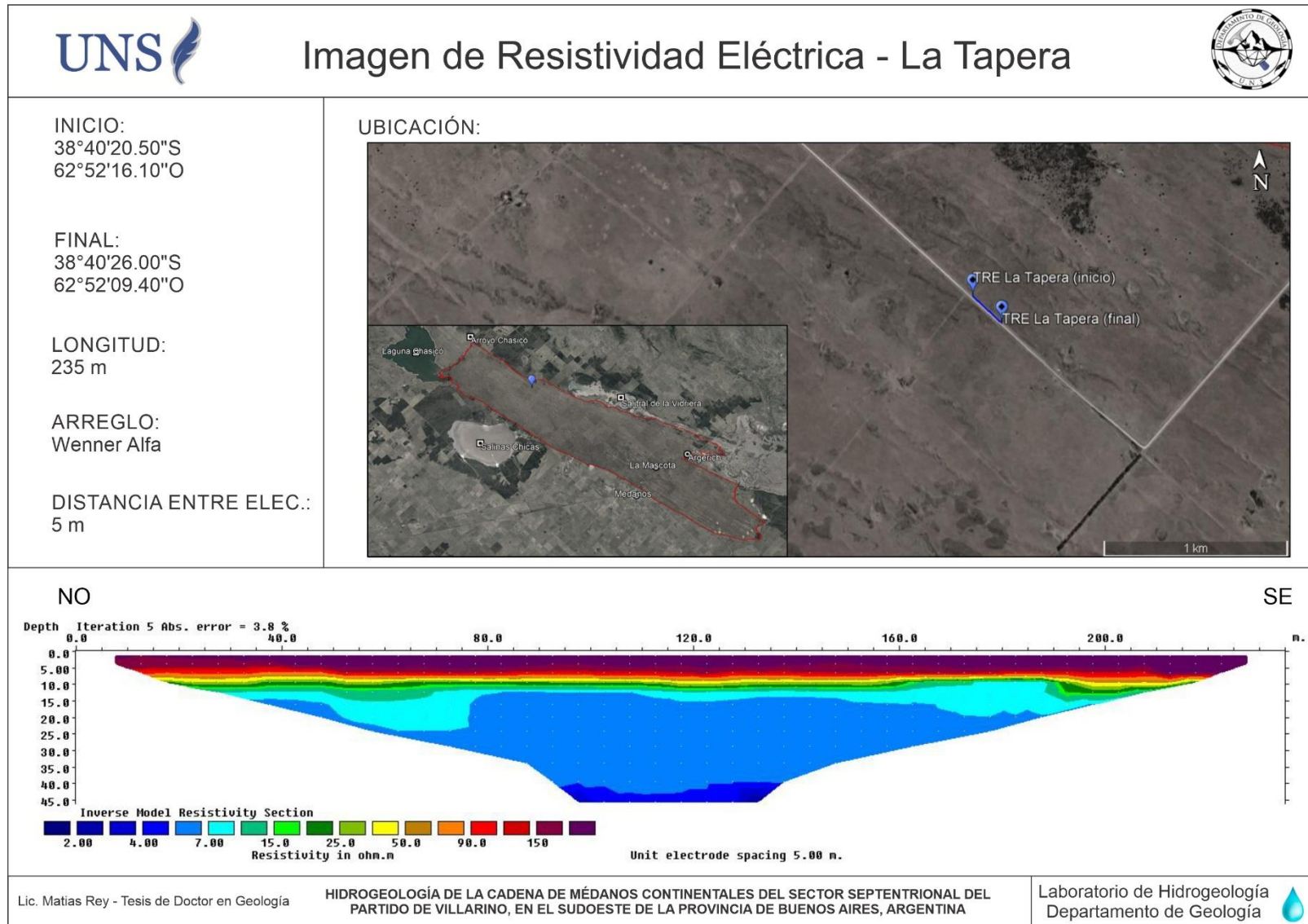
LONGITUD:
235 m

ARREGLO:
Wenner Alfa

DISTANCIA ENTRE ELEC.:
5 m

UBICACIÓN:

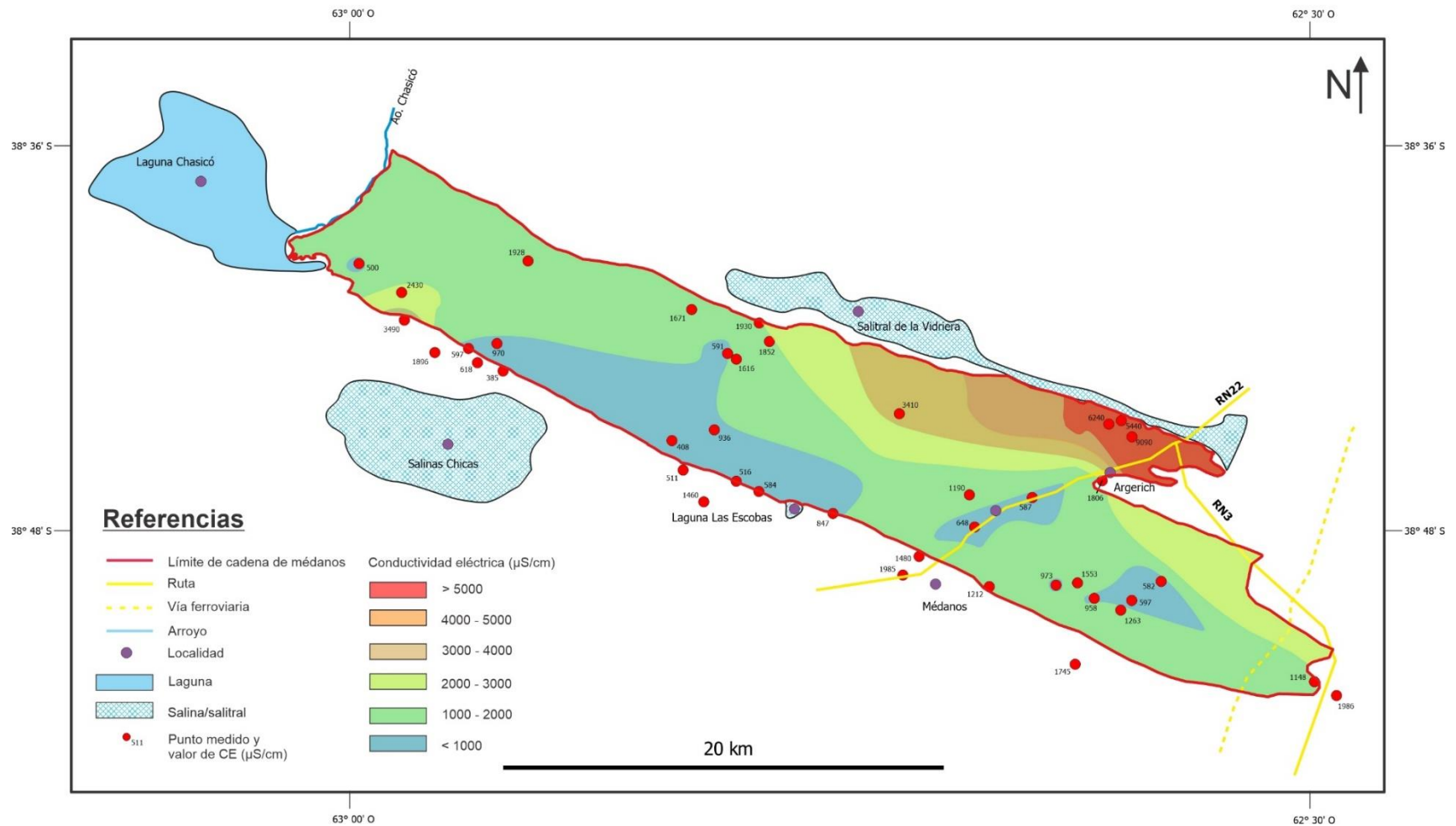




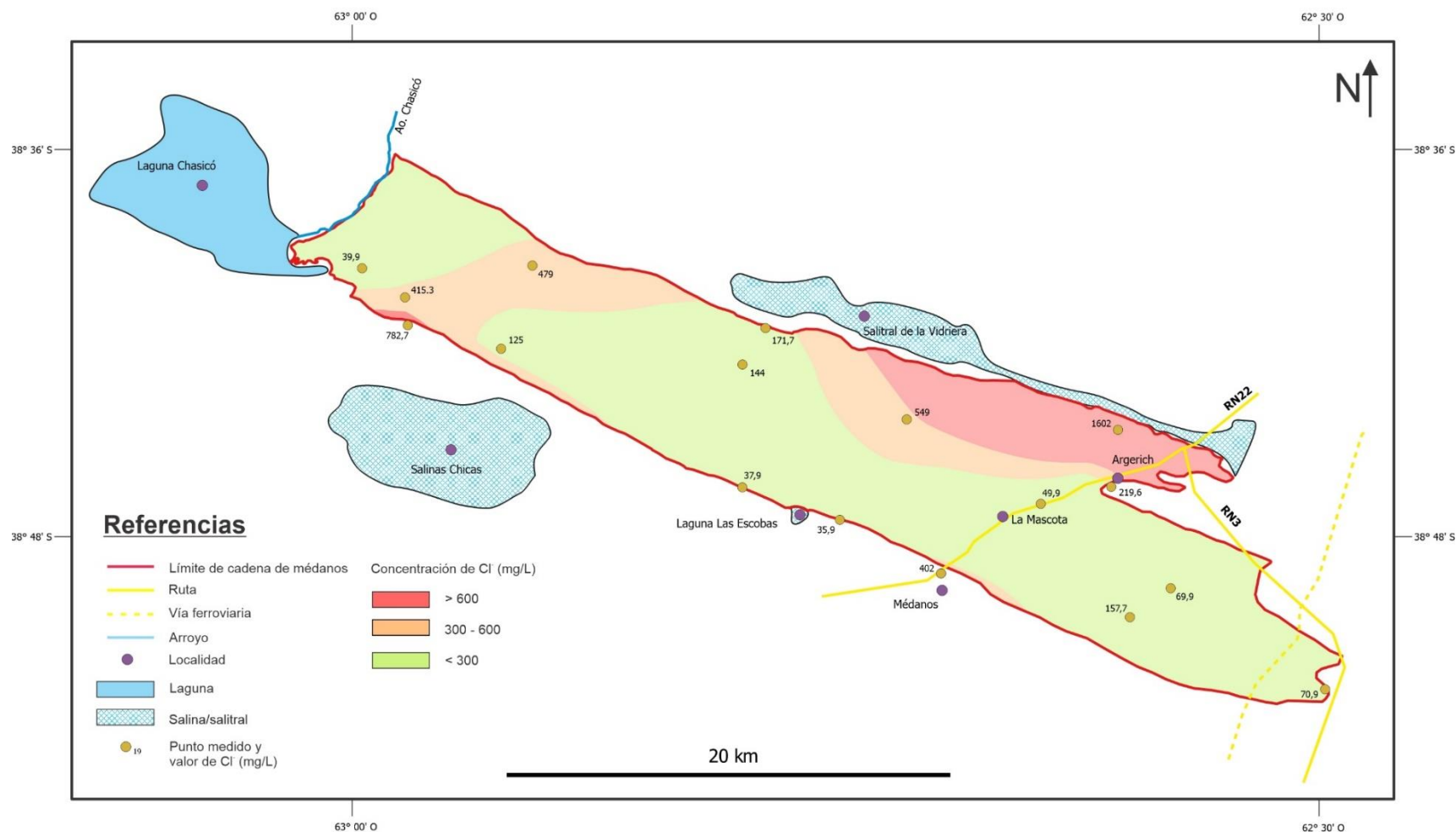
Anexo VI

Mapas de isocontenido

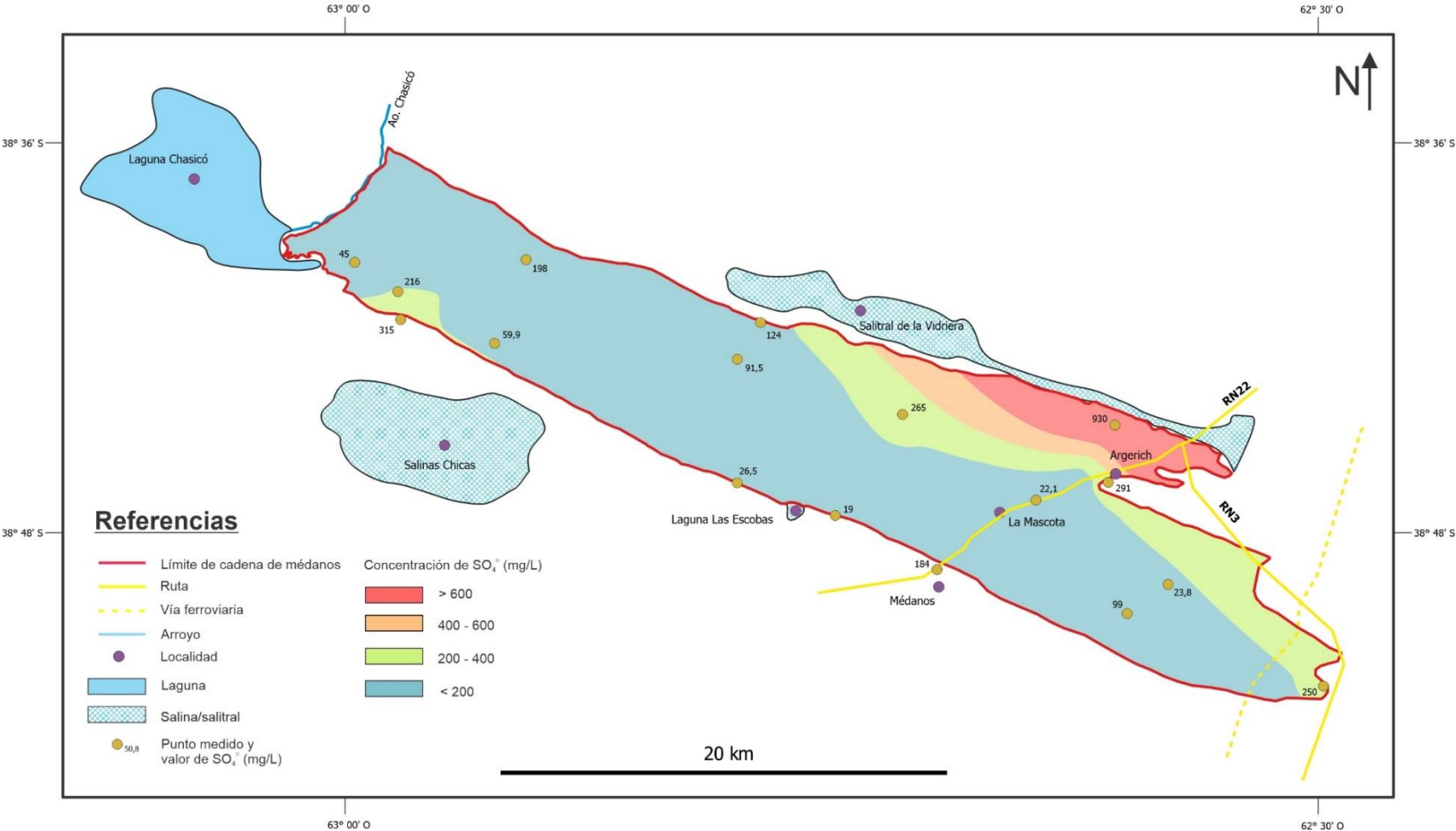
Mapa de isoconductividad eléctrica



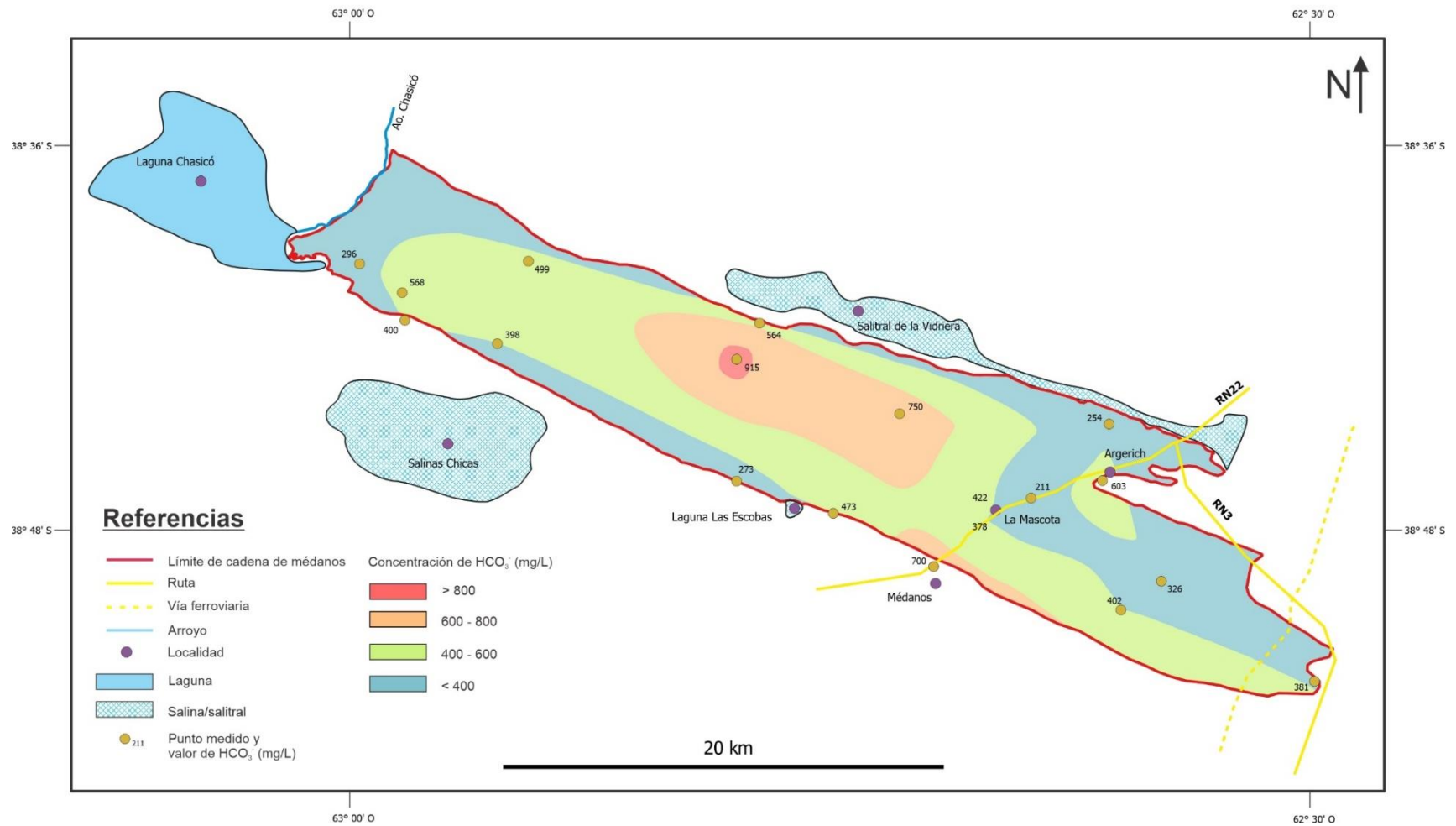
Mapa de isocontenido de Cloruro



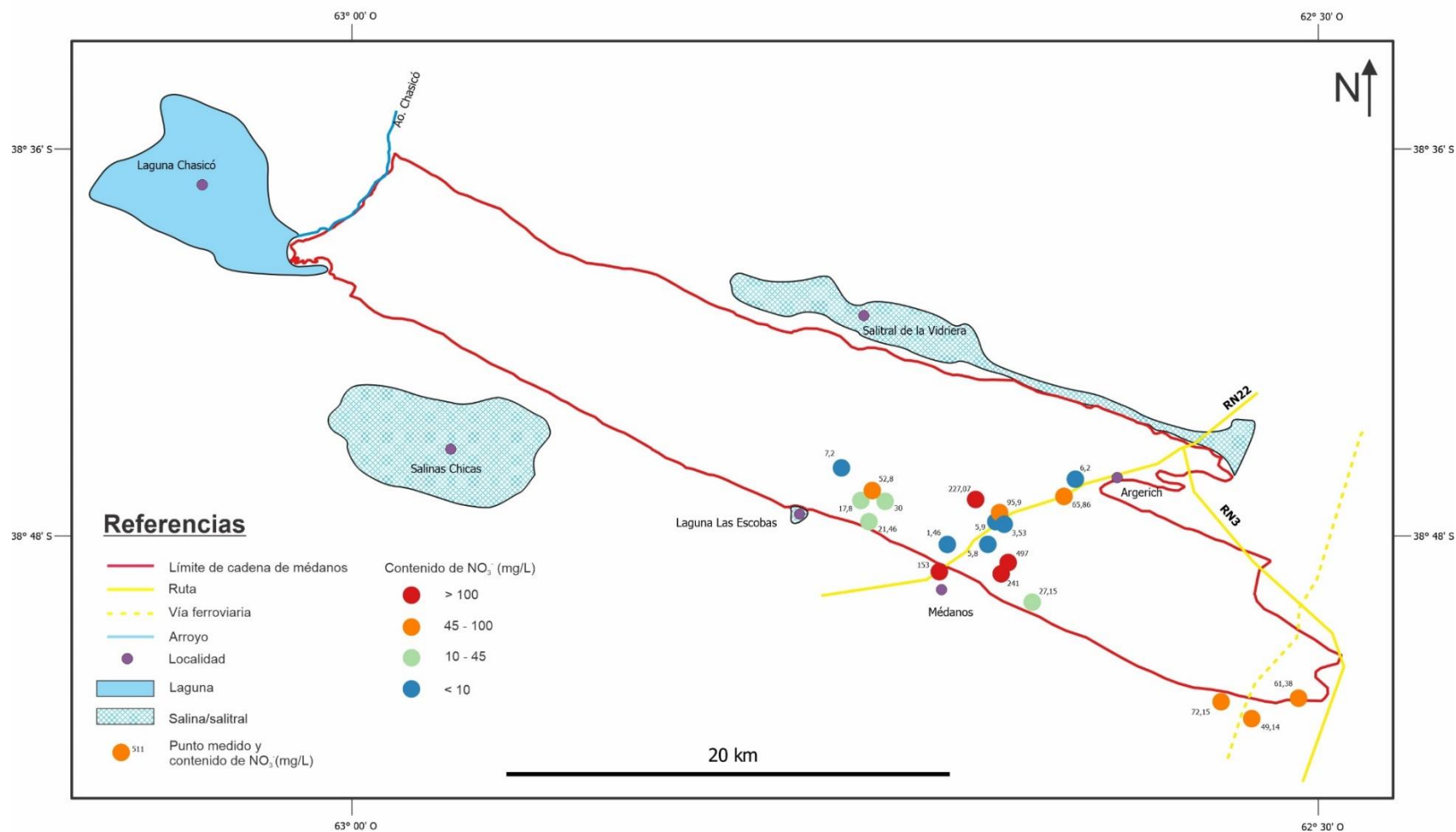
Mapa de isocontenido de Sulfato



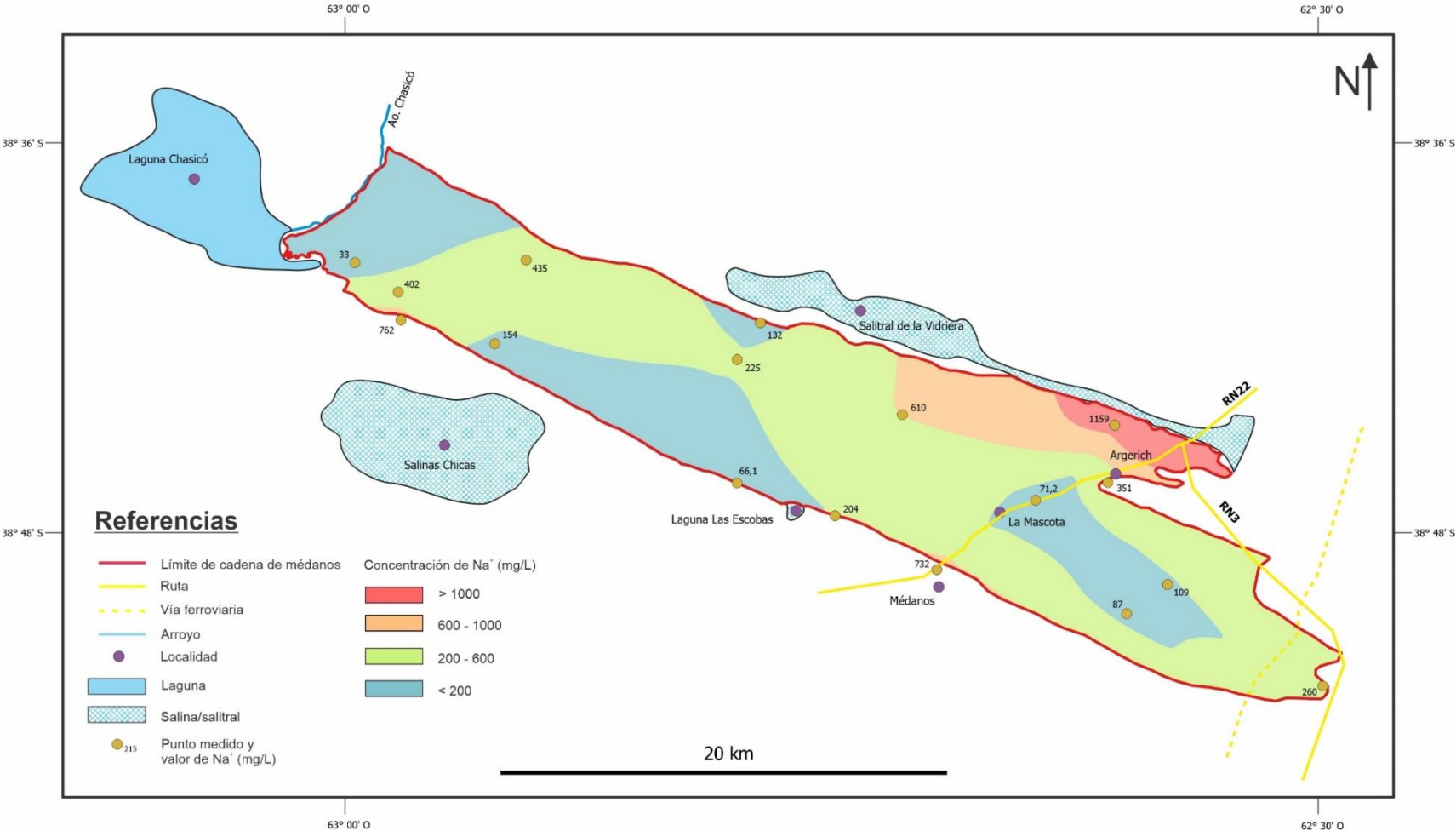
Mapa de isocontenido de Bicarbonatos



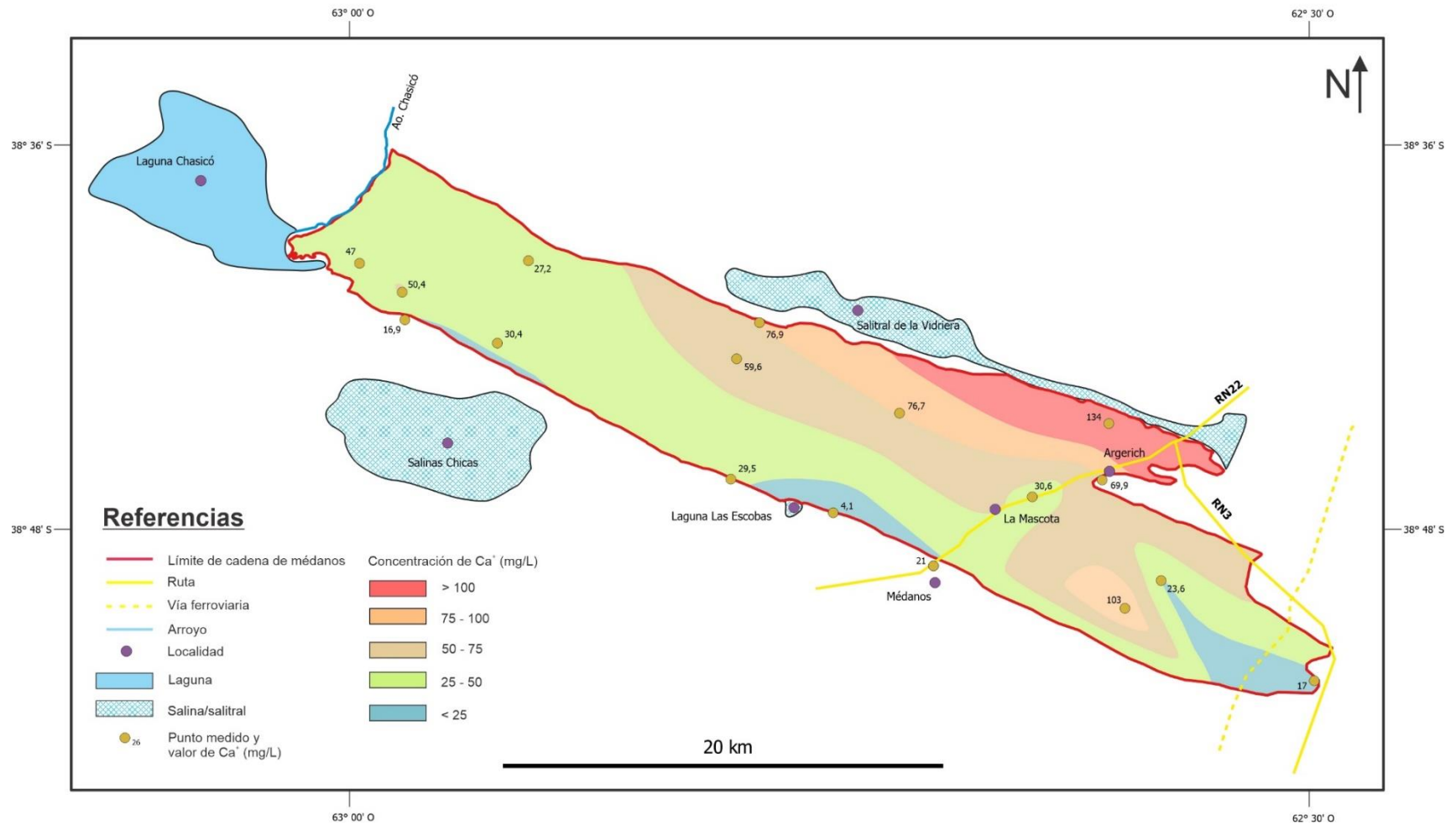
Mapa de contenido de Nitrato



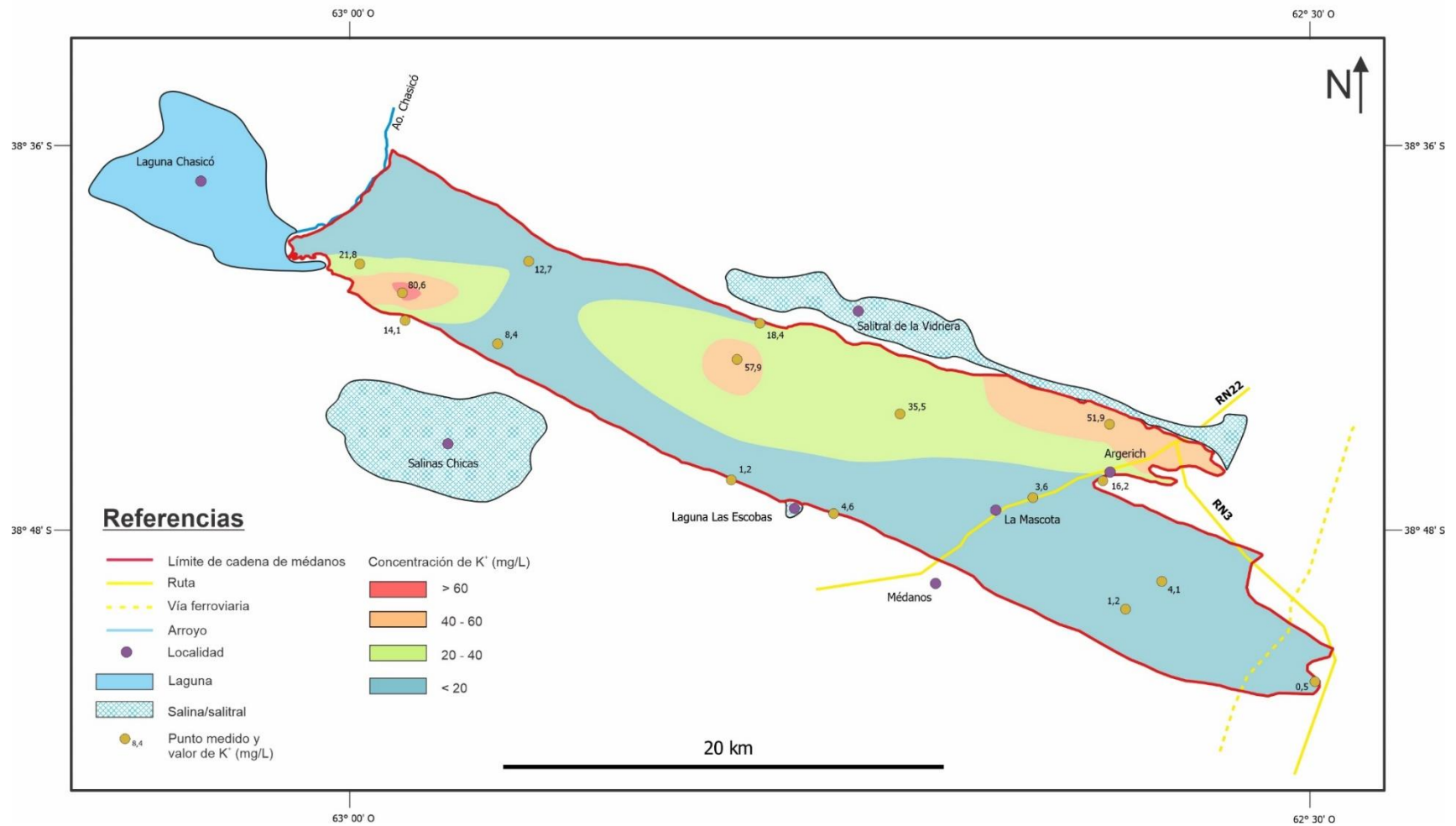
Mapa de isocontenido de Sodio



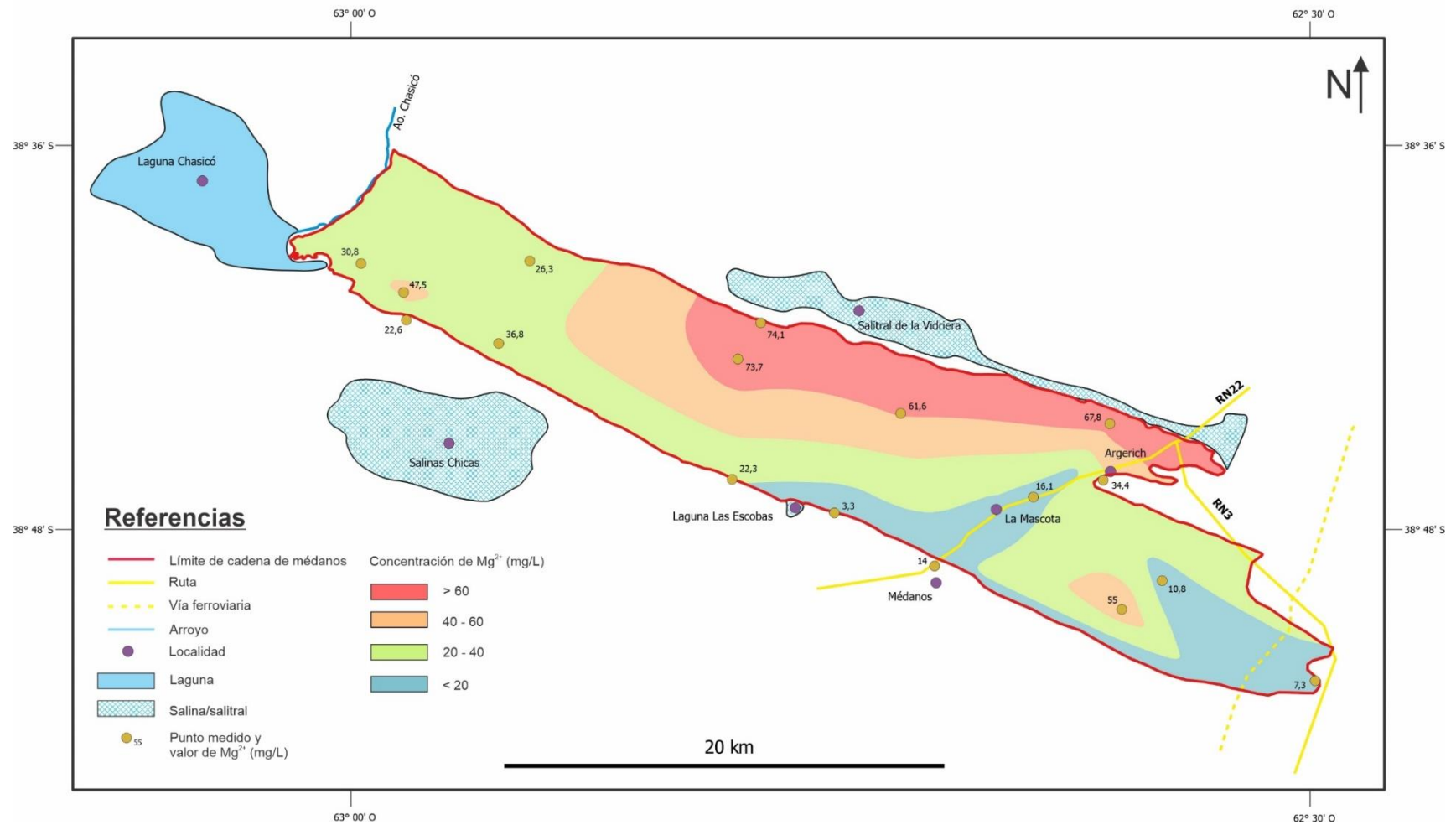
Mapa de isocontenido de Calcio



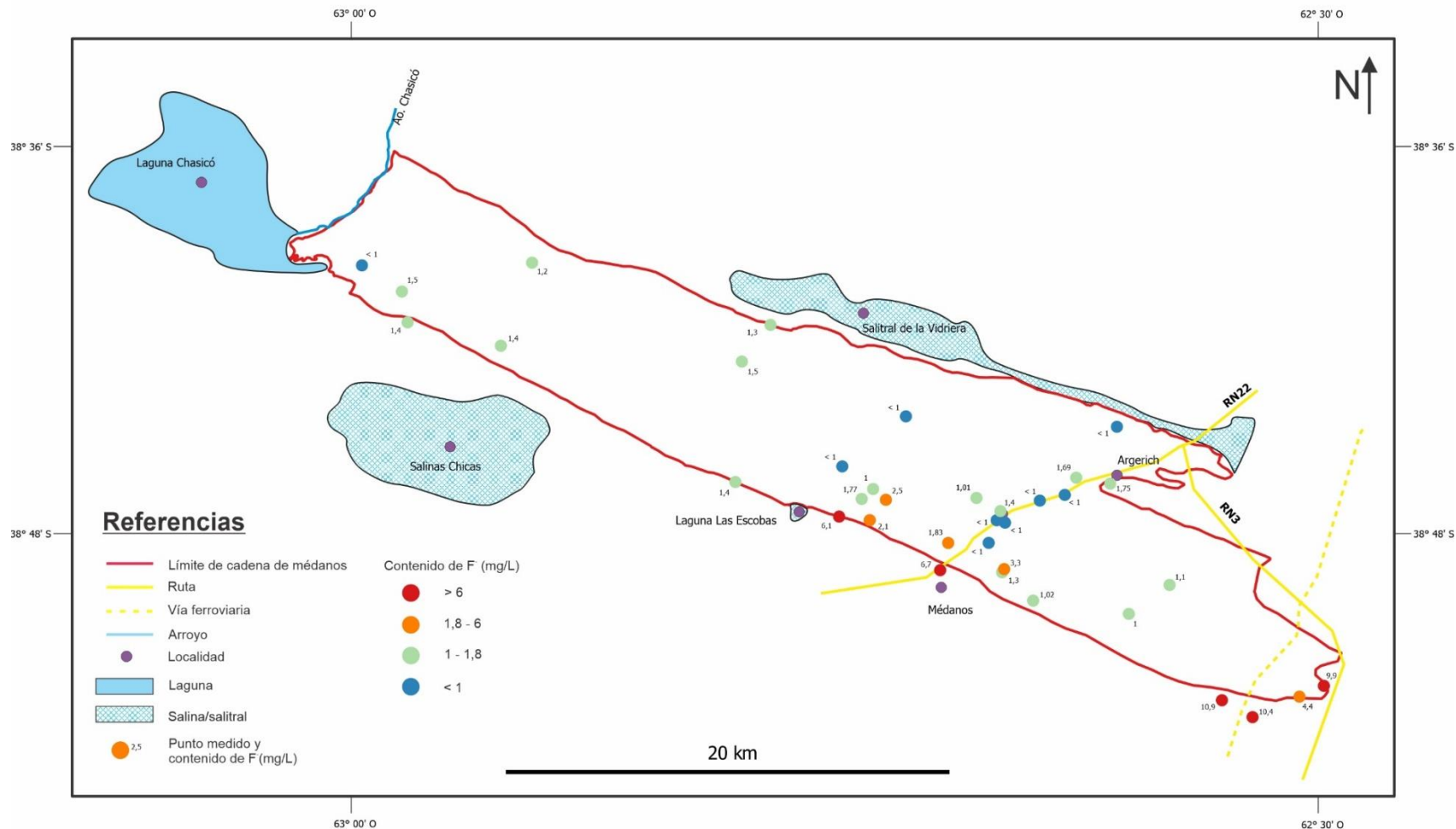
Mapa de isocontenido de Potasio



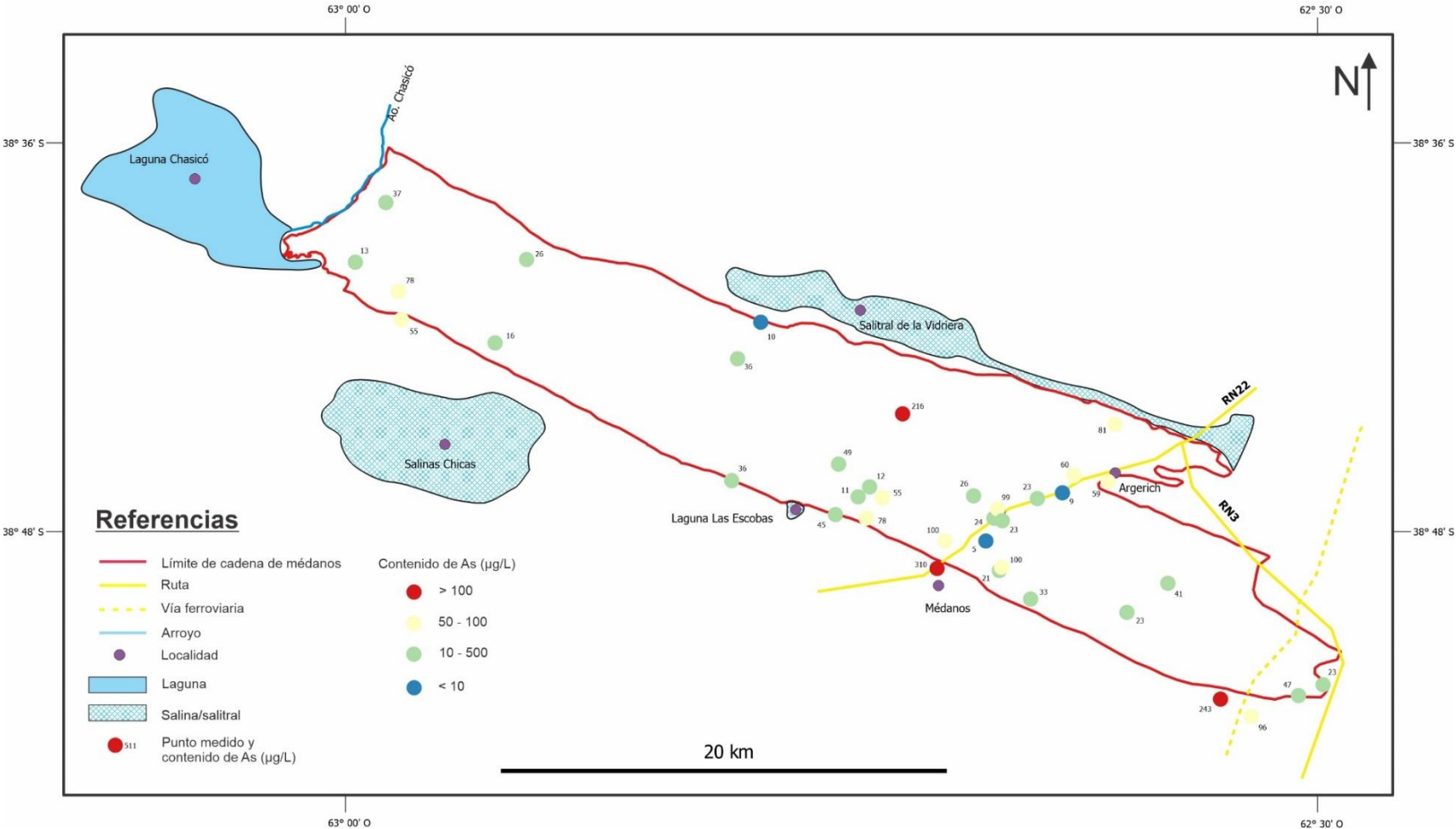
Mapa de isocontenido de Magnesio



Mapa de contenido de Fluoruro



Mapa de contenido de Arsénico



Anexo VII

**Características físicas, químicas y microbiológicas
establecidas por el Código Alimentario Argentino (Capítulo
XII) para agua potable**

Artículo 982 - (Resolución Conjunta SRYGR y SAB N° 34/2019)

“Con las denominaciones de Agua potable de suministro público y Agua potable de uso domiciliario, se entiende la que es apta para la alimentación y uso doméstico: no deberá contener sustancias o cuerpos extraños de origen biológico, orgánico, inorgánico o radiactivo en tenores tales que la hagan peligrosa para la salud. Deberá presentar sabor agradable y ser prácticamente incolora, inodora, límpida y transparente. El agua potable de uso domiciliario es el agua proveniente de un suministro público, de un pozo o de otra fuente, ubicada en los reservorios o depósitos domiciliarios. Ambas deberán cumplir con las características físicas, químicas y microbiológicas siguientes:

Características físicas:

Turbiedad: máx. 3 N T U;

Color: máx. 5 escala Pt-Co;

Olor: sin olores extraños.

Características químicas:

pH: 6,5 - 8,5;

pH sat.: $\text{pH} \pm 0,2$.

Substancias inorgánicas:

Amoníaco (NH_4^+) máx.: 0,20 mg/l;

Antimonio máx.: 0,02 mg/l;

Aluminio residual (Al) máx.: 0,20 mg/l;

Arsénico (As) máx.: 0,01 mg/l;

Boro (B) máx.: 0,5 mg/l;

Bromato máx.: 0,01 mg/l;

Cadmio (Cd) máx.: 0,005 mg/l;

Cianuro (CN^-) máx.: 0,10 mg/l;

Cinc (Zn) máx.: 5,0 mg/l;

Cloruro (Cl^-) máx.: 350 mg/l;

Cobre (Cu) máx.: 1,00 mg/l;

Cromo (Cr) máx.: 0,05 mg/l;

Dureza total (CaCO_3) máx.: 400 mg/l;

Fluoruro (F^-): para los fluoruros la cantidad máxima se da en función de la temperatura promedio de la zona, teniendo en cuenta el consumo diario del agua de bebida:

- Temperatura media y máxima del año ($^{\circ}\text{C}$) 10,0 - 12,0, contenido límite recomendado de Flúor (mg/l), límite inferior: 0,9; límite superior: 1,7;

- Temperatura media y máxima del año (°C) 12,1 - 14,6, contenido límite recomendado de Flúor (mg/l), límite inferior: 0,8: límite superior: 1,5;
- Temperatura media y máxima del año (°C) 14,7 - 17,6, contenido límite recomendado de Flúor (mg/l), límite inferior: 0,8: límite superior: 1,3;
- Temperatura media y máxima del año (°C) 17,7 - 21,4, contenido límite recomendado de Flúor (mg/l), Límite inferior: 0,7: límite superior: 1,2;
- Temperatura media y máxima del año (°C) 21,5 - 26,2, contenido límite recomendado de Flúor (mg/l), límite inferior: 0,7: límite superior: 1,0;
- Temperatura media y máxima del año (°C) 26,3 - 32,6, contenido límite recomendado de Flúor (mg/l), límite inferior: 0,6; límite superior: 0,8: Hierro total (Fe) máx.: 0,30 mg/l;

Manganeso (Mn) máx.: 0,10 mg/l;

Mercurio (Hg) máx.: 0,001 mg/l;

Níquel (Ni) máx.: 0,02 mg/l;

Nitrato (NO₃ -,) máx.: 45 mg/l;

Nitrito (NO₂ -) máx.: 0,10 mg/l;

Plata (Ag) máx.: 0,05 mg/l;

Plomo (Pb) máx.: 0,05 mg/l;

Selenio (Se) máx.: 0,01 mg/l;

Sólidos disueltos totales, máx.: 1500 mg/l;

Sulfatos (SO₄ =) máx.: 400 mg/l;

Cloro activo residual (Cl) mín.: 0,2 mg/l.

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.

En aquellas regiones del país con suelos de alto contenido de arsénico, la autoridad sanitaria competente podrá admitir valores mayores a 0,01 mg/l con un límite máximo de 0,05 mg/l cuando la composición normal del agua de la zona y la imposibilidad de aplicar tecnologías de corrección lo hicieran necesario; ello 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 Coordinación Políticas Socioambientales de la Secretaría de Gobierno de Salud del Ministerio de Salud y Desarrollo Social y Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica del Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda. La Comisión Nacional de Alimentos deberá recomendar el límite máximo admitido para dichas regiones del país en base a los estudios antes referidos.

Características Microbiológicas:

Bacterias coliformes: NMP a 37 °C- 48 hs. (Caldo Mc Conkey o Lauril Sulfato), en 100 ml: igual o menor de 3.

Escherichia coli: ausencia en 100 ml.

Pseudomonas aeruginosa: ausencia en 100 ml.

En la evaluación de la potabilidad del agua ubicada en reservorios de almacenamiento domiciliario deberá incluirse entre los parámetros microbiológicos a controlar el recuento de bacterias mesófilas en agar (APC - 24 hs. a 37 °C): en el caso de que el recuento supere las 500 UFC/ml y se cumplan el resto de los parámetros indicados, sólo se deberá exigir la higienización del reservorio y un nuevo recuento.

En las aguas ubicadas en los reservorios domiciliarios no es obligatoria la presencia de cloro activo.

Contaminantes orgánicos:

THM, máx.: 100 ug/l;

Aldrin + Dieldrin, máx.: 0,03 ug/l;

Clordano, máx.: 0,30 ug/l;

DDT (Total + Isómeros), máx.: 1,00 ug/l;

Detergentes, máx.: 0,50 mg/l;

Heptacloro + Heptacloroepóxido, máx.: 0,10 ug/l;

Lindano, máx.: 3,00 ug/l;

Metoxicloro, máx.: 30,0 ug/l; 2,4 D, máx.: 100 ug/l;

Benceno, máx.: 10 ug/l;

Hexacloro benceno, máx.: 0,01 ug/l;

Monocloro benceno, máx.: 3,0 ug/l;

1,2 Dicloro benceno, máx.: 0,5 ug/l;

1,4 Dicloro benceno, máx.: 0,4 ug/l;

Pentaclorofenol, máx.: 10 ug/l; 2, 4, 6

Triclorofenol, máx.: 10 ug/l;

Tetracloruro de carbono, máx.: 3,00 ug/l;

1,1 Dicloroeteno, máx.: 0,30 ug/l;

Tricloro etileno, máx.: 30,0 ug/l;

1,2 Dicloro etano, máx.: 10 ug/l;

Cloruro de vinilo, máx.: 2,00 ug/l;

Benzopireno, máx.: 0,01 ug/l;

Tetra cloro eteno, máx.: 10 ug/l;

MetilParatión, máx.: 7 ug/l;

Paratión, máx.: 35 ug/l;

Malatión, máx.: 35 ug/l.

Los tratamientos de potabilización que sea necesario realizar deberán ser puestos en conocimiento de la autoridad sanitaria competente”

Anexo VIII

Normas de calidad agua potable y frecuencia de muestreos Ley Provincia de Buenos Aires N°11.820

CAPITULO XIII

NORMAS COMPLEMENTARIAS Y TRANSITORIAS

ARTICULO 54.- II- INCORPORACIÓN DE ÁREAS NUEVAS.

La incorporación de Áreas Nuevas al régimen establecido en el presente, se producirá mediante convenio entre la Municipalidad respectiva y el ORBAS.

ARTICULO 55.- II- USUARIOS FUERA DEL AREA CONCESIONADA.

El Concesionario podrá contratar o mantener, con autorización del ORBAS, la prestación de Servicios de agua potable o desagües cloacales a personas o comunidades no comprendidas en el área concesionada, sin perjuicio de lo establecido en el Art. 15 -II inciso n). Dichos servicios se regularán por los respectivos contratos.

ANEXO A:

NORMAS DE CALIDAD PARA EL AGUA POTABLE

FRECUENCIA DE MUESTREO - TÉCNICAS ANALÍTICAS

TABLA I:

LÍMITES TOLERABLES PARA LOS COMPONENTES

MICROBIOLÓGICOS BÁSICOS

A. AGUA QUE ENTRA EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN			
LÍMITE TOLERABLE (según método de análisis)			
	Tubos múltiples	Membrana filtrante	Presencia-Ausencia
Coliformes totales	<2,2 NMP/100 ml (1)	Ausencia en 100 ml	Ausencia en 100 ml (3)
E. coli o Coliformes	<2,2 NMP/100 ml (1)	Ausencia en 100 ml	Ausencia en 100 ml
B. AGUA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN			
LÍMITE TOLERABLE (según método de análisis)			
	Tubos múltiples	Membrana filtrante	Presencia-Ausencia (2)
Coliformes totales	2,2 NMP/100 ml (1)	Ausencia en 100 ml	Ausencia en 100 ml
E. coli o Coliformes	2,2 NMP/100 ml (1)	Ausencia en 100 ml	Ausencia en 100 ml

(1) Límite provisorio, condicionado a la modificación del Método de Tubos Múltiples para aumentar su sensibilidad (10 Tubos).

(2) En aquellos servicios en que la calidad de muestras sea suficiente, no deben estar presentes, en 100 ml de agua en el 95% de las muestras extraídas durante cualquier período de 12 meses. Siempre que las muestras no contengan más de 10 bacterias coliformes por 100 ml de agua y que en ningún caso se encuentren bacterias coliformes en 100 ml de agua en dos muestras consecutivas.

(3) En aquellos servicios en que la calidad de muestras sea suficiente, no deben estar presente, en 100 ml de agua en el 95% de las muestras extraídas durante cualquier período de 12 meses. Siempre que las muestras no contengan más de 10 bacterias coliformes por 100 ml de agua y que en ningún caso se encuentren bacterias coliformes en 100 ml de agua en dos muestras consecutivas.

TODAS LAS AGUAS DESTINADAS A CONSUMO HUMANO SE DEBEN DESINFECTAR.

TABLA II:
COMPONENTES QUE AFECTAN DIRECTAMENTE A LA SALUD – LÍMITES TOLERABLES

COMPONENTES	UNIDAD	LÍMITE TOLERABLE	REF.
COMPONENTES INORGÁNICOS			
Arsénico	mg/l	0,05	(P) (1)
Cadmio	mg/l	0,003	
Cianuro	mg/l	0,07	
Cobre	mg/l	2,00	(P)
Cromo total	mg/l	0,05	(P) (2)
Flúor	mg/l	1,50	
Manganeso	mg/l	0,50	(P)
Mercurio (total)	mg/l	0,001	
Nitrato (como NO ₃ .)	mg/l	50,00	
Nitrito (como NO ₂ .)	mg/l	3,00	(P)
Plomo	mg/l	0,01	

Selenio	mg/l	0,01	
Plata	mg/l	0,05	
COMPONENTES ORGÁNICOS			
Alcanos Clorados			
- 1,2 Dicloroetano	ug/l	30,00	(P)
- Tetracloruro de carbono	ug/l	2,00	
Etenos Clorados			
- 1.1 Dicloroetano	ug/l	30,00	
- Tricloroetano	ug/l	70,00	(P)
- Tetracloroetano	ug/l	40,00	
Hidrocarburos Aromáticos			
- Benceno	ug/l	10,00	
- Benzo (a) pireno	ug/l	0,70	
Pesticidas			
- Aldrin/Dieldrín	ug/l	0,03	
- Clordano (total isómeros)	ug/l	0,20	
- 2,4D (ácido dicloro-fenoxiacético)	ug/l	30,00	
- DDT (total isómeros)	ug/l	2,00	
- Heptacloro y Heptacloroepóxido	ug/l	0,03	
- Hexaclorobenceno	ug/l	1,00	
- Lindano	ug/l	2,00	
- Metoxicloro	ug/l	20,00	
- Pentaclorofenol	ug/l	9,00	
DESINFECTANTES			
- Cloro (libre residual)	mg/l	5,00	
- Monocloramina	mg/l	6,00	
PRODUCTOS DE LA DESINFECCIÓN			
Clorfenoles			
- 2, 4, 6 Triclorofenol	ug/l	200	
Trihalometanos			
- Bromoformo	ug/l	100	
- Dibromoclorometano	ug/l	100	
- Bromodiclorometano	ug/l	60	
- Cloroformo	ug/l	200	

(1) (P) Límite Provisorio. Este término se utiliza para aquellos componentes para los cuales existe alguna evidencia de un peligro potencial, pero la información disponible sobre los efectos hacia la salud es limitada o cuando el factor de incertidumbre utilizado al establecer la Ingesta Diaria Tolerable (IDT) es superior a 1.000.

(1) El límite tolerable calculado para un componente inferior al límite de detección práctico a la concentración que se puede alcanzar con métodos de tratamiento disponibles, o cuando el límite recomendado puede ser superado como resultado a la desinfección.

(2) En el caso de aguas no cloradas, deberá diferenciarse Cromo tri y hexavalente.

TABLA III:

COMPONENTES O CARACTERISTICAS QUE AFECTAN A LA ACEPTABILIDAD DEL AGUA POR PARTE DEL CONSUMIDOR – LIMITES TOLERABLES.

PARÁMETROS	UNIDAD	LÍMITE TOLERABLE
Características Físicas		
Color	Uc	15
Sabor y olor		No ofensivo para la mayoría de los usuarios.
Turbiedad	UNT	2
Componentes Físico Químicos		
Aluminio	mg/l	0,2
Cinc	mg/l	3,0
Cloruro	mg/l	2,50
Hierro	mg/l	0,3
PH		6,5 - 8,5
Sodio	mg/l	200
Sulfato	mg/l	250
Sólidos disueltos totales	mg/l	1500
Componentes Orgánicos		
Detergentes Sintéticos	mg/l	0,2

TABLA IV:

PARAMETROS BIOLÓGICOS COMPLEMENTARIOS (Parámetros cuya determinación queda supeditada a circunstancias o necesidades puntuales)

PARÁMETROS	VALOR GUÍA
Bacterias Aerobias Heterotrofas	<100 UFO en 1 ml
Pseudomona Aeruginosa	Ausencia en 100 ml
Giardia Lamblia	Ausencia
Fitoplancton y Zooplancton	Ausencia

Frecuencia de Extracción

El Concesionario deberá realizar los monitoreos y análisis con la periodicidad que se detalle para los siguientes parámetros:

1. Agua cruda de toma superficial.

- Componentes microbiológicos - Tabla 1(Diariamente).
- Datos básicos, pH, turbiedad, alcalinidad (cada 6 horas).
- Componentes que afectan directamente a la salud - Tabla II (cada tres meses).
- Componentes que afectan la aceptabilidad del agua - (Tabla III). Metales pesados, DBO, DQO, Fenoles, Hidrocarburos, detergentes (mensualmente).
- Parámetros biológicos complementarios - Tabla IV. Su determinación es supeditada a circunstancias o necesidades puntuales.

2. Agua cruda de toma subterránea

- Análisis químico (semestral)
- Análisis microbacteriológico - Tabla I (trimestral)

3. Agua potabilizada en la salida del establecimiento potabilizador

- Componentes microbiológicos - Tabla I (cada 6 horas)
- Datos básicos, pH, turbiedad, alcalinidad (cada 6 horas)
- Componentes que afectan directamente a la salud - Tabla II (cada tres meses)
- Componentes que afectan la aceptabilidad del agua - (Tabla III), Metales pesados, DBO, DQO, Fenoles, Hidrocarburos, detergentes (mensualmente)
- Parámetros biológicos complementarios - Tabla IV. Su determinación es supeditada a circunstancias o necesidades puntuales.

4. Agua potabilizada en el sistema de distribución

- Análisis bacteriológicos: muestra mensual cada 10.000 habitantes en el radio de agua y cloacas.

- Los puntos de muestreo en red se dividirán en fijos (escuelas, hospitales, oficinas públicas) y variables que cubran proporcionalmente el área servida.
- Análisis químicos: En todas las oportunidades que se efectúen análisis bacteriológicos se medirá el Cloro Residual.
- En un 20% de las muestras se medirán además todos los componentes de la Tabla III.

El Concesionario deberá elevar al ORBAS con la periodicidad fijada los resultados de los análisis especificados.

Asimismo, el ORBAS inspeccionará, tomará muestras y analizará periódicamente, a fin de controlar el cumplimiento de los parámetros admisibles fijados, notificando al operador para que en dicha oportunidad éste pueda sacar muestras paralelas para cotejar si así lo desea los resultados obtenidos.

Si los parámetros admisibles se vieran superados, el ORBAS sancionará al Concesionario aplicando las multas que oportunamente se fijen.

Toda vez que la autoridad de aplicación verifique la comisión de infracciones, redactará un acta de infracción la que servirá de acusación, prueba de cargo y hará fe mientras no se pruebe lo contrario.

La falta de presentación en términos de los resultados de los análisis periódicos será pasible de sanciones las que se notificarán oportunamente.

Técnicas analíticas

Las que fija el ORBAS para cada parámetro y que se encuentran normalizadas en:

- SM: Manual de Métodos Normalizados para Análisis de Aguas Potables y Residuales. Edición 17, APHA-AWWA-WPCF, 1989 o sus actualizaciones.
- EPA: Método de Análisis para Agua Potable, Agencia Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica.

Anexo IX

Balances de agua en el suelo con software BALSHORT V3 (máximos y mínimos)

Balance Hidrológico Diario

1976

ETP Tanque "A"

Area De Estudio: Médanos						Estación: Médanos											
ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO		
P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd
1		0.0			3.3	1		21.5			0.7			10.4			3.5
2		0.0	24	2.3	21.7			18.2			0.6			9.7			3.3
3		0.0			17.1			15.1			0.5			9.0			3.2
4		0.0	5		18.9			12.3			0.4			8.4			3.1
5		0.0			14.6	10		19.7			0.4			7.8			2.9
6		0.0			10.9			16.7			0.3			7.3	7		8.6
7		0.0			8.0	2		16.1			0.3			6.9	8		15.3
8		0.0			5.8			13.4			0.2			6.4	5		19.0
9		0.0			4.1			11.1			0.2			6.0			18.5
10		0.0			3.0	41	27.1	22.5			0.2			5.7			18.0
11		0.0			2.1	1		22.0			0.2			5.4			17.4
12		0.0			1.5			19.2			0.1			5.1			16.9
13	27	2.0	21.4		1.1			16.5			0.1			4.8			16.5
14		16.3		10	8.0			14.1			0.1			4.5	2		17.2
15		11.8			5.9			11.9	22		20.3			4.3			16.7
16		8.2			4.3			10.0			18.7			4.1			16.2
17		5.6	24	3.3	22.0			8.4	1		18.9			3.9			15.8
18		3.7	15	12.0	22.0			7.0	3		20.1			3.7			15.3
19		2.5			18.0			5.8	104	99.1	23.2			3.5			14.8
20		1.7			14.4			4.9	8	6.2	23.2			3.3			14.4
21		1.1			11.2			4.1			21.7			3.2			13.9
22		0.8	4		12.3			3.4			20.3			3.0			13.5
23		0.5	2		11.4			2.9			18.9			2.9			13.1
24		0.4			8.9			2.4			17.6			2.7			12.6
25		0.2			6.8			2.0			16.3			2.6			12.2
26		0.2	69	50.8	22.2			1.7			15.2			2.5			11.8
27		0.1			18.6			1.5			14.1			2.4			11.4
28		0.1			15.3			1.2			13.0			2.3			11.0
29		0.1	34	24.3	22.2			1.1			12.1	3		3.9			10.7
30	10	6.7						0.9			11.2			3.8			10.3
31		4.7						0.8						3.6			
37	2.0	4.7	187	92.7	22.2	55	27.1	0.8	138	105.3	11.2	3	0.0	3.6	22	0.0	10.3

JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE		
P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd
1		9.9			23.6			15.7			15.0			12.9			8.7
2		9.6	1	0.6	22.7			14.5			13.2	31	18.9	22.3	4		9.5
3		9.2			21.9			13.3			11.6	2		21.5			6.8
4		8.9			21.0			12.2	3		12.5			17.9	6		9.5
5		8.6			20.1			11.2			10.8			14.6			6.8
6		8.3			19.3			10.2			9.4			11.5			4.8
7		8.0			18.4			9.2			8.0			9.0			3.4
8		7.7	4		20.9			8.4	10		15.9			6.8			2.4
9		7.4			20.0			7.6	27	17.9	22.8			5.2			1.6
10		7.1			19.1			6.8			20.5	16		18.2	3		1.3
11		6.8			18.2			6.1			18.1			14.5			0.9
12		6.6			17.3			5.5			15.9			11.2	11		8.5
13		6.3			16.4			4.9	32	22.9	22.8			8.5			6.0
14		6.1			15.5			4.4			20.3			6.3	3		5.6
15		5.8			14.6			3.9			17.8	42	23.3	21.9			3.9
16		5.6			13.8			3.5			15.5	7	3.9	21.9			2.6
17		5.3			12.9			3.1			13.2			17.7			1.8
18		5.1	6		17.4			2.7			11.2			13.9	3		1.4
19		4.9			16.4			2.4			9.3			10.5			0.9
20		4.7			15.4			2.1			7.7			7.8	3		0.5
21		4.5			14.4	12		12.2			6.3			5.7	20		17.1
22		4.3			13.5			10.8			5.2			4.1	4		17.6
23		4.1			12.6			9.6			4.2	2		3.0			13.1
24		3.9			11.7			8.5			3.4			2.1			9.4
25		3.7			10.8			7.4			2.7	15		13.9			6.5
26		3.5	32	17.8	23.4			6.5			2.1	83	71.9	21.8			4.5
27		3.3			22.1	46	27.5	23.0	2		1.6	3		21.6			3.0
28		3.2			20.8			20.9			1.2			17.2			2.1
29		3.0			19.5			18.9	63	39.2	22.4			13.2			1.4
30		2.8			18.2			16.9			19.0	1		11.9			0.9
31		23.6			17.0						15.8						0.6
27	4.8	23.6	43	18.4	17.0	58	27.5	16.9	137	80.0	15.8	202	118.1	11.9	57	0.0	0.6

TOTALES ANUALES	Precipitación Anual: 966	100.0 %	Exceso Anual: 475.9	49.3 %
	Interceptación Anual: 53		Evapotranspiración Real Anual: 489.5	50.7 %

Capacidad de Campo: 24; Reserva Inicial: 10; Textura: Arenosa
Estación de Evapotranspiración: Médanos

Balance Hidrológico Diario

1976

ETP Penman-Monteith

Area De Estudio: Médanos						Estación: Médanos											
ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO		
P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd
1		0.0			2.4	1		20.4			0.1			5.3			1.2
2		0.0	24	1.4	21.1			16.0			0.1			4.6			1.1
3		0.0			15.5			12.2			0.1			4.0			1.0
4		0.0	5		16.7			9.0			0.1			3.5			0.9
5		0.0			11.7	10		15.8			0.0			3.1			0.8
6		0.0			7.8			12.1			0.0			2.7	7		6.2
7		0.0			5.1	2		11.0			0.0			2.4	8		12.5
8		0.0			3.3			8.2			0.0			2.1	5		15.9
9		0.0			2.1			6.1			0.0			1.9			14.8
10		0.0			1.3	41	22.1	21.9			0.0			1.6			13.8
11		0.0			0.9	1		20.9			0.0			1.5			12.9
12		0.0			0.6			17.0			0.0			1.3			12.0
13	27	2.0	20.9		0.4			13.5			0.0			1.2			11.2
14		14.7			6.7			10.4			0.0			1.0	2		11.6
15		9.5			4.4			8.0	22		19.7			0.9			10.8
16		5.9			2.9			6.1			17.3			0.8			10.0
17		3.5	24	1.9	21.4			4.6	1		17.0			0.7			9.3
18		2.1	15	11.4	21.4			3.5	3		17.8			0.7			8.6
19		1.3			16.4			2.7	104	96.8	22.8			0.6			8.0
20		0.8			11.9			2.0	8	5.8	22.8			0.5			7.4
21		0.5			8.4			1.6			20.4			0.5			6.8
22		0.3	4		8.9			1.2			18.2			0.4			6.3
23		0.2	2		7.5			0.9			16.0			0.4			5.8
24		0.1			5.2			0.7			14.1			0.4			5.4
25		0.1			3.6			0.5			12.3			0.3			4.9
26		0.0	69	47.6	21.6			0.4			10.7			0.3			4.5
27		0.0			17.0			0.3			9.3			0.3			4.2
28		0.0			12.8			0.3			8.1			0.2			3.8
29		0.0	34	21.8	21.7			0.2			7.0	3		1.5			3.5
30	10		6.1					0.2			6.1			1.4			3.3
31		3.8						0.1						1.3			
37 2.0 3.8			187 84.1 21.7			55 22.1 0.1			138 102.6 6.1			3 0.0 1.3			22 0.0 3.3		
JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE		
P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd
1		3.0	1	0.2	23.2			10.2			10.7			10.0			5.7
2		2.7			21.5			8.7			8.6	31	16.0	21.7	4		5.9
3		2.5			19.8			7.3			6.8	2		20.5			3.7
4		2.3			18.1			6.1	3		7.1			16.0	6		5.9
5		2.1			16.5			5.1			5.6			11.9			3.7
6		1.9			14.9			4.3			4.3			8.6			2.3
7		1.8			13.4			3.5			3.4			6.1			1.4
8		1.6	4		15.5			2.9	10		10.6			4.2			0.9
9		1.5			13.9			2.4	27	12.6	22.2			2.9			0.6
10		1.4			12.5			2.0			18.7	16		15.5	3		0.4
11		1.2			11.1			1.6			15.4			11.3			0.3
12		1.1			9.9			1.3			12.3			7.9	11		7.3
13		1.0			8.7			1.1	32	19.3	22.2			5.4			4.5
14		0.9			7.7			0.9			18.6			3.7	3		3.5
15		0.9			6.7			0.7			15.1	42	20.7	21.5			2.1
16		0.8			5.9			0.6			12.0	7	3.5	21.4			1.3
17		0.7			5.1			0.5			9.3			16.3			0.8
18		0.7	6		9.1			0.4			7.1			11.8	3		0.6
19		0.6			7.9			0.3			5.4			8.1			0.4
20		0.5			6.9			0.2			4.0			5.5	3		0.3
21		0.5			5.9	12		9.7			3.0			3.6	20		16.3
22		0.4			5.1			7.9			2.2			2.4	4		16.2
23		0.4			4.4			6.4			1.6	2		0.7			10.9
24		0.4			3.8			5.1			1.2			0.4			6.9
25		0.3			3.2			4.1			0.9	15		11.7			4.2
26		0.3	32	10.2	22.9			3.2			0.6	83	69.7	21.3			2.5
27		0.3			20.5	46	24.2	22.4	2		0.5	3		20.5			1.5
28		0.2			18.2			19.2			0.4			15.2			0.9
29		0.2			16.0			16.1	63	38.4	21.8			10.5			0.5
30		0.2			13.9			13.2			17.5	1		8.7			0.3
31	27	2.2	23.2		12.0						13.5						0.2
27 2.2 23.2			43 10.4 12.0			58 24.2 13.2			137 70.3 13.5			202 109.9 8.7			57 0.0 0.2		

TOTALES ANUALES	Precipitación Anual: 966		100.0 %		Exceso Anual: 427.8		44.3 %	
	Interceptación Anual: 53				Evapotranspiración Real Anual: 538.0		55.7 %	

Capacidad de Campo: 24; Reserva Inicial: 10; Textura: Arenosa
Estación de Evapotranspiración: Médanos

Balance Hidrológico Diario

1976

ETP Hargreaves-Samani

Area De Estudio: Médanos

Estación: Médanos

ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO		
P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd
1		0.0			2.2	1		20.2			0.1			5.2			1.2
2		0.0	24	1.2	21.0			15.6			0.1			4.5			1.1
3		0.0			15.1			11.6			0.0			4.0			1.0
4		0.0	5		16.1			8.4			0.0			3.5			0.9
5		0.0			11.0	10		15.2			0.0			3.0			0.8
6		0.0			7.1			11.4			0.0			2.7	7		6.2
7		0.0			4.5	2		10.1			0.0			2.3	8		12.6
8		0.0			2.8			7.4			0.0			2.1	5		16.0
9		0.0			1.8			5.4			0.0			1.8			15.0
10		0.0			1.1	41	21.4	21.8			0.0			1.6			14.0
11		0.0			0.7	1		20.7			0.0			1.4			13.1
12		0.0			0.4			16.5			0.0			1.3			12.2
13	27	2.0			0.3			12.8			0.0			1.1			11.4
14		13.9	10		6.5			9.7			0.0			1.0	2		11.9
15		8.5			4.3			7.3	22		19.7			0.9			11.1
16		4.9			2.8			5.4			17.2			0.8			10.4
17		2.8	24	1.8	21.3			4.0	1		17.0			0.7			9.7
18		1.6	15	11.3	21.3			3.0	3		17.7			0.7			9.0
19		0.9			16.2			2.2	104	96.7	22.8			0.6			8.4
20		0.5			11.6			1.7	8	5.8	22.8			0.5			7.8
21		0.3			8.0			1.3			20.4			0.5			7.3
22		0.2	4		8.5			0.9			18.1			0.4			6.7
23		0.1	2		6.9			0.7			15.9			0.4			6.3
24		0.1			4.7			0.5			14.0			0.4			5.8
25		0.0			3.2			0.4			12.2			0.3			5.4
26		0.0	69	47.2	21.5			0.3			10.6			0.3			5.0
27		0.0			16.7			0.2			9.2			0.3			4.6
28		0.0			12.4			0.2			8.0			0.2			4.3
29		0.0	34	21.4	21.6			0.1			6.9	3		1.6			3.9
30	10	5.9						0.1			6.0			1.4			3.6
31		3.6						0.1						1.3			
37 2.0 3.6			187 82.9 21.6			55 21.4 0.1			138 102.5 6.0			3 0.0 1.3			22 0.0 3.6		

JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE		
P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd
1		3.4			23.2			10.1			10.1			9.2			4.5
2		3.1	1	0.2	21.6			8.5			8.0	31	15.2	21.6	4		4.4
3		2.9			20.0			7.1			6.2	2		20.1			2.6
4		2.7			18.4			6.0	3		6.4			15.3	6		4.5
5		2.4			16.8			4.9			4.9			11.1			2.6
6		2.3			15.3			4.1			3.8			7.8			1.6
7		2.1			13.8			3.4			2.9			5.3			0.9
8		1.9	4		15.9			2.8	10		10.0			3.5			0.5
9		1.8			14.4			2.2	27	12.0	22.1			2.3			0.3
10		1.6			13.0			1.8			18.4	16		14.7	3		0.2
11		1.5			11.6			1.5			14.9			10.3			0.1
12		1.4			10.4			1.2			11.7			7.0	11		6.8
13		1.3			9.2			1.0	32	18.7	22.1			4.6			4.0
14		1.2			8.1			0.8			18.2			3.0	3		2.6
15		1.1			7.2			0.6			14.6	42	20.0	21.2			1.5
16		1.0			6.3			0.5			11.3	7	3.2	21.2			0.8
17		0.9			5.5			0.4			8.6			15.7			0.5
18		0.8	6		9.5			0.3			6.4			10.9	3		0.4
19		0.8			8.3			0.3			4.8			7.2			0.2
20		0.7			7.2			0.2			3.5			4.6	3		0.2
21		0.6			6.2	12		9.6			2.5			2.9	20		15.8
22		0.6			5.4			7.7			1.8			1.8	4		15.4
23		0.5			4.6			6.1			1.3	2		1.5			9.7
24		0.5			4.0			4.8			0.9			0.9			5.7
25		0.4			3.4			3.8			0.7	15		11.9			3.3
26		0.4	32	10.4	22.8			3.0			0.5	83	69.9	21.0			1.8
27		0.3			20.5	46	24.0	22.3	2		0.4	3		20.0			1.0
28		0.3			18.2			18.9			0.3			14.2			0.6
29		0.3			15.9			15.7	63	38.3	21.7			9.3			0.3
30		0.2			13.8			12.7			17.0	1		7.3			0.2
31	27	2.2	23.2		11.9						12.8						0.1
27 2.2 23.2			43 10.6 11.9			58 24.0 12.7			137 69.0 12.8			202 108.4 7.3			57 0.0 0.1		

TOTALES ANUALES	Precipitación Anual:	966	100.0 %	Exceso Anual:	422.9	43.8 %
	Intercepción Anual:	53		Evapotranspiración Real Anual:	543.0	56.2 %

Capacidad de Campo: 24; Reserva Inicial: 10; Textura: Arenosa
Estación de Evapotranspiración: Médanos

Balance Hidrológico Diario

1981

ETP Tanque "A"

Área De Estudio: Médanos						Estación: Médanos											
ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO		
P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd
1		0.6			11.0	30	7.3	22.3			7.7			15.8			15.5
2		0.4			7.9			18.8			6.7			14.8			15.9
3		0.3			5.6			15.6			5.8			13.9	1		15.6
4		0.2			4.0			12.8			5.0			13.0			15.1
5		0.1			2.8	16	3.8	22.4			4.4			12.1			14.5
6		0.1	6		5.6			19.1	18		20.4			11.4			14.1
7		0.1			4.0			16.1			18.4			10.7			13.6
8		0.0			2.8			13.4			16.6			10.0			13.1
9		0.0			2.0			11.0			14.9			9.4			12.7
10	2	0.0			1.4			9.0			13.4			8.9			12.2
11		0.0			1.0			7.4	10		21.5			8.3			11.8
12		0.0			0.7			6.0			19.7	7		13.9			11.4
13		0.0			0.5			4.9	15	9.7	23.1			13.2			11.1
14		0.0			0.4	5		7.5	6	4.1	23.1			12.6			10.7
15		0.0			0.3			6.2			21.4			12.0	2		11.4
16	1	0.0			0.2			5.1			19.8	15	2.0	23.6			11.1
17		0.0			0.1			4.2			18.2			22.8			10.7
18		0.0			0.1			3.5			16.7	4	1.8	23.6			10.4
19	17	13.5			0.1			2.9			15.3			22.8			10.0
20		9.6	12		9.1			2.4			14.0			22.1			9.7
21		6.6			6.9	22		22.1			12.8			21.3			9.4
22		4.5			5.2			19.6	6		17.0			20.6			9.0
23	8	9.1			4.0			17.2			15.7			19.9			8.7
24		6.3			3.0			15.0			14.5			19.2			8.4
25	7	9.9	5		5.2			13.0	11	0.5	23.3			18.5			8.1
26		7.0			4.0			11.2			21.9			17.8			7.9
27	22	4.0			3.0			9.6			20.6			17.2			7.6
28		16.9			2.3			8.2			19.3			16.6			7.3
29		12.6						7.1			18.1			16.0			7.0
30		9.2						6.1			16.9			15.4			6.8
31	9	14.8				5		8.9				1		16.0			
66	4.0	14.8	23	0.0	2.3	78	11.1	8.9	66	14.3	16.9	27	3.8	16.0	3	0.0	6.8
JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE		
P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd
1		6.5			2.3			1.7			0.0			13.0			17.3
2		6.3			2.2			1.5			0.0			10.4			13.2
3		6.1	2		2.8			1.4			0.0			8.2	7		17.0
4		5.8			2.6			1.3			0.0			6.4			12.9
5		5.6			2.5			1.2			0.0			4.9			9.5
6		5.4			2.3			1.0			0.0			3.8			6.8
7		5.2			2.2			0.9			0.0			2.9			4.8
8		5.0			2.1			0.8			0.0			2.2			3.4
9	3	6.7			1.9			0.8			0.0			1.6			2.3
10		6.5	1		2.5			0.7			0.0			1.2			1.6
11		6.2			2.3			0.6			0.0			0.9			1.1
12		6.0			2.2			0.5			0.0			0.7			0.8
13		5.7			2.0			0.5			0.0			0.5	2		0.7
14		5.5			1.9			0.4			0.0			0.4			0.4
15		5.3			1.8			0.4			0.0			0.3			0.3
16		5.1			1.7			0.3			0.0			0.2	9		5.9
17		4.9			1.5			0.3			0.0			0.1			4.1
18		4.7			1.4			0.3			0.0			0.1			2.8
19		4.5			1.3			0.2			0.0			0.1			1.9
20		4.3			1.2			0.2			0.0			0.1			1.3
21		4.1			1.2			0.2			0.0			0.0			0.9
22		3.9			1.1			0.2			0.0			0.0			0.6
23		3.7			1.0			0.1			0.0			0.0			0.4
24		3.5			0.9			0.1			0.0			0.0			0.3
25		3.4			0.8			0.1			0.0			0.0			0.2
26		3.2			0.8			0.1			0.0			0.0	19		15.7
27		3.1			0.7			0.1	24		21.4			0.0	6		18.2
28		2.9			0.6			0.1			18.3			0.0			13.6
29		2.8			0.6			0.1	29	22.3	22.4	21		17.8			9.7
30		2.6			0.5			0.1			19.1	10	2.8	21.8			6.8
31		2.5			1.9						16.0						4.6
3	0.0	2.5	6	0.0	1.9	0	0.0	0.1	53	22.3	16.0	31	2.8	21.8	43	0.0	4.6

TOTALES ANUALES	Precipitación Anual: 399		100.0 %		Exceso Anual: 58.3		14.6 %	
	Intercepción Anual: 36				Evapotranspiración Real Anual: 337.0		84.5 %	

Capacidad de Campo: 24; Reserva Inicial: 10; Textura: Arenosa
Estación de Evapotranspiración: Médanos

Balance Hidrológico Diario

1981

ETP Penman-Monteith

Area De Estudio: Médanos						Estación: Médanos											
ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO		
P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd
1		0.7			7.8	30	6.2	21.7			3.9			8.1			6.3
2		0.4			5.0			17.2			3.1			7.1			5.8
3		0.3			3.2			13.1			2.5			6.2	1		6.1
4		0.2			2.0			9.8			2.0			5.4			5.6
5		0.1			1.3	16	0.8	21.8			1.6			4.7			5.1
6		0.1	6		3.5			17.5	18		17.1			4.1			4.7
7		0.0			2.2			13.6			14.5			3.6			4.3
8		0.0			1.4			10.3			12.1			3.2			3.9
9		0.0			0.9			7.7			10.1			2.8			3.6
10	2	0.0			0.6			5.7			8.4			2.5			3.3
11		0.0			0.4			4.2	10		16.0			2.2			3.1
12		0.0			0.2			3.1			13.6	7		7.4			2.8
13		0.0			0.2			2.3	15	3.6	22.7			6.6			2.6
14		0.0			0.1	5		4.3	6	3.7	22.7			5.9			2.4
15		0.0			0.1			3.2			20.1			5.3	2		2.8
16	1	0.0			0.0			2.4			17.6	15		18.5			2.6
17		0.0			0.0			1.8			15.3			17.0			2.4
18		0.0			0.0			1.4			13.2	4		19.2			2.2
19	17	12.9			0.0			1.0			11.3			17.7			2.1
20		8.3	12		8.5			0.8			9.7			16.3			1.9
21		5.2			5.8	22		20.0			8.2			15.0			1.7
22		3.1			4.0			16.5	6		12.1			13.7			1.6
23	8	7.1			2.7			13.3			10.4			12.6			1.5
24		4.4			1.9			10.6			9.0			11.5			1.4
25	7	7.4	5		3.5			8.4	11		17.8			10.5			1.3
26		4.7			2.4			6.6			15.8			9.6			1.2
27	22	1.7			1.7			5.2			13.9			8.7			1.1
28		15.3			1.2			4.1			12.2			7.9			1.0
29		10.3						3.2			10.6			7.2			0.9
30		6.7						2.5			9.3			6.6			0.8
31	9	11.8				5		4.9				1		6.9			
66	1.7	11.8	23	0.0	1.2	78	6.9	4.9	66	7.3	9.3	27	0.0	6.9	3	0.0	0.8

JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE		
P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd
1		0.8			0.2			0.7			0.0			10.1			15.7
2		0.7			0.2			0.6			0.0			7.4			10.9
3		0.6	2		0.3			0.5			0.0			5.3	7		14.1
4		0.6			0.3			0.4			0.0			3.7			9.6
5		0.5			0.2			0.3			0.0			2.6			6.2
6		0.5			0.2			0.3			0.0			1.8			3.9
7		0.4			0.2			0.2			0.0			1.3			2.5
8		0.4			0.2			0.2			0.0			0.9			1.5
9	3	1.8			0.1			0.2			0.0			0.6			1.0
10		1.6	1		0.2			0.1			0.0			0.4			0.6
11		1.5			0.2			0.1			0.0			0.3			0.4
12		1.4			0.2			0.1			0.0			0.2			0.2
13		1.2			0.2			0.1			0.0			0.1	2		0.2
14		1.1			0.1			0.1			0.0			0.1			0.1
15		1.0			0.1			0.0			0.0			0.1			0.1
16		0.9			0.1			0.0			0.0			0.0	9		5.0
17		0.9			0.1			0.0			0.0			0.0			3.1
18		0.8			0.1			0.0			0.0			0.0			1.9
19		0.7			0.1			0.0			0.0			0.0			1.1
20		0.6			0.1			0.0			0.0			0.0			0.7
21		0.6			0.0			0.0			0.0			0.0			0.4
22		0.5			0.0			0.0			0.0			0.0			0.2
23		0.5			0.0			0.0			0.0			0.0			0.1
24		0.4			0.0			0.0			0.0			0.0			0.1
25		0.4			0.0			0.0			0.0			0.0			0.1
26		0.3			0.0			0.0			0.0			0.0	19		15.0
27		0.3			0.0			0.0	24		20.9			0.0	6		16.9
28		0.3			0.0			0.0			16.7			0.0			11.4
29		0.2			0.0			0.0	29	20.7	21.9	21		17.2			7.2
30		0.2			0.0			0.0			17.6	10	2.2	21.2			4.4
31		0.2			0.8						13.6						2.7
3	0.0	0.2	6	0.0	0.8	0	0.0	0.0	53	20.7	13.6	31	2.2	21.2	43	0.0	2.7

TOTALES ANUALES	Precipitación Anual:	399	100.0 %	Exceso Anual:	38.8	9.7 %
	Intercepción Anual:	36		Evapotranspiración Real Anual:	358.7	89.9 %

Capacidad de Campo: 24; Reserva Inicial: 10; Textura: Arenosa
Estación de Evapotranspiración: Médanos

Balance Hidrológico Diario

1981

ETP Hargreaves-Samani

Area De Estudio: Médanos						Estación: Médanos											
ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO		
P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd
1		0.5			6.9	30	6.0	21.6			3.5			7.9			6.4
2		0.3			4.3			16.9			2.8			6.9			5.9
3		0.2			2.6			12.7			2.2			6.0	1		6.2
4		0.1			1.6			9.2			1.7			5.3			5.7
5		0.0			1.0	16	0.2	21.7			1.4			4.6			5.3
6		0.0			3.1			17.2	18		16.8			4.0			4.8
7		0.0	6		1.9			13.1			14.1			3.5			4.5
8		0.0			1.2			9.7			11.8			3.1			4.1
9		0.0			0.7			7.1			9.7			2.8			3.8
10	2	0.0			0.5			5.1			8.0			2.4			3.5
11		0.0			0.3			3.7	10		15.6			2.2			3.2
12		0.0			0.2			2.7			13.2	7		7.3			3.0
13		0.0			0.1			1.9	15	3.2	22.6			6.5			2.8
14		0.0			0.1	5		3.8	6	3.6	22.7			5.8			2.6
15		0.0			0.0			2.8			20.0			5.2	2		3.0
16	1	0.0			0.0			2.0			17.5	15		18.4			2.8
17		0.0			0.0			1.5			15.2			17.0			2.6
18		0.0			0.0			1.1			13.1	4		19.2			2.4
19	17	12.7			0.0			0.8			11.2			17.7			2.2
20		7.8	12		8.4			0.6			9.5			16.3			2.1
21		4.6			5.7			19.7			8.1			15.0			1.9
22		2.7			3.8			16.0	6		11.9			13.7			1.8
23	8	6.4			2.6			12.7			10.3			12.6			1.7
24		3.8			1.7			10.0			8.8			11.5			1.5
25	7	6.6			3.2			7.8	11		17.7			10.5			1.4
26		3.9			2.2			6.0			15.6			9.6			1.3
27	22	0.9			1.5			4.6			13.7			8.8			1.2
28		14.7			1.0			3.6			12.0			8.0			1.1
29		9.6						2.8			10.5			7.3			1.0
30		6.0						2.2			9.1			6.7			1.0
31	9	10.9				5		4.5				1		7.0			
66 0.9 10.9			23 0.0 1.0			78 6.3 4.5			66 6.9 9.1			27 0.0 7.0			3 0.0 1.0		

JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE		
P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd
1		0.9			0.2			0.7			0.0			9.3			15.0
2		0.8			0.2			0.6			0.0			6.6			9.9
3		0.8	2		0.4			0.5			0.0			4.6	7		12.8
4		0.7			0.3			0.4			0.0			3.1			8.1
5		0.6			0.3			0.3			0.0			2.1			5.0
6		0.6			0.3			0.3			0.0			1.4			2.9
7		0.5			0.2			0.2			0.0			1.0			1.7
8		0.5			0.2			0.2			0.0			0.6			1.0
9	3	1.9			0.2			0.1			0.0			0.4			0.6
10		1.8	1		0.3			0.1			0.0			0.3			0.3
11		1.6			0.3			0.1			0.0			0.2			0.2
12		1.5			0.2			0.1			0.0			0.1			0.1
13		1.4			0.2			0.1			0.0			0.1	2		0.1
14		1.3			0.2			0.0			0.0			0.0			0.0
15		1.2			0.2			0.0			0.0			0.0			0.0
16		1.1			0.1			0.0			0.0			0.0			4.7
17		1.0			0.1			0.0			0.0			0.0	9		2.7
18		0.9			0.1			0.0			0.0			0.0			1.5
19		0.8			0.1			0.0			0.0			0.0			0.8
20		0.7			0.1			0.0			0.0			0.0			0.5
21		0.7			0.1			0.0			0.0			0.0			0.3
22		0.6			0.1			0.0			0.0			0.0			0.1
23		0.6			0.1			0.0			0.0			0.0			0.1
24		0.5			0.0			0.0			0.0			0.0			0.0
25		0.5			0.0			0.0			0.0			0.0			0.0
26		0.4			0.0			0.0			0.0			0.0	19		14.7
27		0.4			0.0			0.0	24		20.8			0.0	6		16.3
28		0.3			0.0			0.0			16.3			0.0			10.4
29		0.3			0.0			0.0	29	20.3	21.7	21		17.0			6.1
30		0.3			0.0			0.0			17.1	10	2.0	21.0			3.5
31		0.2			0.8						12.9						2.0
3 0.0 0.2			6 0.0 0.8			0 0.0 0.0			53 20.3 12.9			31 2.0 21.0			43 0.0 2.0		

TOTALES ANUALES	Precipitación Anual: 399		100.0 %		Exceso Anual: 36.3		9.1 %	
	Intercepción Anual: 36				Evapotranspiración Real Anual: 361.6		90.6 %	

Capacidad de Campo: 24; Reserva Inicial: 10; Textura: Arenosa
Estación de Evapotranspiración: Médanos

Balance Hidrológico Diario

1981

ETP calibrada Almorox et al.

Area De Estudio: Médanos						Estación: Médanos											
ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO		
P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd
1		0.8			8.6	30	6.4	21.8			4.4			9.7			8.2
2		0.5			5.7			17.6			3.5			8.6			7.6
3		0.3			3.7			13.7			2.9			7.6	1		8.1
4		0.2			2.4			10.5			2.3			6.8			7.5
5		0.1			1.6	16	1.5	21.9			1.9			6.0			7.0
6		0.1	6		4.0			17.9	18		17.5			5.4			6.5
7		0.0			2.6			14.1			15.1			4.8			6.0
8		0.0			1.7			10.9			12.8			4.3			5.6
9		0.0			1.2			8.3			10.9			3.9			5.2
10	2	0.0			0.8			6.2			9.2			3.5			4.9
11		0.0			0.5			4.7	10		16.9			3.1			4.6
12		0.0			0.3			3.5			14.7			2.8			4.3
13		0.0			0.2			2.7	15	4.7	22.8	7		7.6			4.0
14		0.0			0.2	5		4.8	6	3.8	22.8			6.9			3.7
15		0.0			0.1			3.6			20.4			6.3	2		4.3
16	1	0.0			0.1			2.7			18.2	15		19.6			4.0
17		0.0			0.1			2.1			16.0			18.2			3.7
18		0.0			0.0			1.6			14.1	4		20.6			3.5
19	17	13.0			0.0			1.2			12.3			19.2			3.3
20		8.6	12		8.7			0.9			10.7			17.9			3.1
21		5.4			6.2	22		20.2			9.3			16.7			2.9
22		3.4			4.4			16.9	6		13.2			15.5			2.7
23	8	7.5			3.1			13.9			11.6			14.4			2.5
24		4.8			2.2			11.2			10.2			13.4			2.3
25	7	7.9	5		3.9			9.0	11		19.1			12.4			2.2
26		5.1			2.8			7.2			17.2			11.5			2.0
27	22	2.1			2.0			5.7			15.4			10.7			1.9
28		15.7			1.4			4.6			13.8			9.9			1.8
29		10.9						3.7			12.3			9.1			1.7
30		7.3						2.9			10.9			8.5			1.6
31	9	12.5				5		5.4				1		8.9			
66 2.1 12.5			23 0.0 1.4			78 7.9 5.4			66 8.4 10.9			27 0.0 8.9			3 0.0 1.6		
JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE		
P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd	P	EXC.	Rd
1		1.4			0.3			0.8			0.0			10.6			15.9
2		1.3			0.3			0.7			0.0			7.9			11.2
3		1.3	2		0.6			0.6			0.0			5.7	7		14.4
4		1.2			0.5			0.5			0.0			4.1			9.9
5		1.1			0.5			0.4			0.0			2.9			6.5
6		1.0			0.4			0.4			0.0			2.1			4.2
7		0.9			0.4			0.3			0.0			1.5			2.6
8		0.9			0.3			0.3			0.0			1.0			1.7
9	3	2.3			0.3			0.2			0.0			0.7			1.0
10		2.2	1		0.5			0.2			0.0			0.5			0.6
11		2.0			0.5			0.1			0.0			0.3			0.4
12		1.9			0.4			0.1			0.0			0.2			0.2
13		1.7			0.4			0.1			0.0			0.1	2		0.1
14		1.6			0.3			0.1			0.0			0.1			0.1
15		1.5			0.3			0.1			0.0			0.1			0.1
16		1.4			0.3			0.1			0.0			0.1	9		5.1
17		1.3			0.2			0.0			0.0			0.0			3.1
18		1.2			0.2			0.0			0.0			0.0			1.9
19		1.1			0.2			0.0			0.0			0.0			1.2
20		1.0			0.2			0.0			0.0			0.0			0.7
21		0.9			0.1			0.0			0.0			0.0			0.4
22		0.9			0.1			0.0			0.0			0.0			0.3
23		0.8			0.1			0.0			0.0			0.0			0.2
24		0.7			0.1			0.0			0.0			0.0			0.1
25		0.7			0.1			0.0			0.0			0.0			0.1
26		0.6			0.1			0.0			0.0			0.0	19		15.0
27		0.6			0.1			0.0	24		21.0			0.0	6		17.0
28		0.5			0.1			0.0			17.0			0.0			11.6
29		0.5			0.0			0.0	29	21.0	21.9	21		17.3			7.5
30		0.4			0.0			0.0			17.8	10	2.3	21.3			4.6
31		0.4			0.9						14.0						2.8
3 0.0 0.4			6 0.0 0.9			0 0.0 0.0			53 21.0 14.0			31 2.3 21.3			43 0.0 2.8		

TOTALES ANUALES	Precipitación Anual:	399	100.0 %	Exceso Anual:	41.7	10.5 %
	Intercepción Anual:	36		Evapotranspiración Real Anual:	355.7	89.2 %

Capacidad de Campo: 24; Reserva Inicial: 10; Textura: Arenosa
Estación de Evapotranspiración: Médanos