

UNIVERSIDAD DE LA PLATA

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MUSEO

TESIS DOCTORAL 2022

Procesos condicionantes de la calidad del agua subterránea
en las zonas de borde continental del acuífero costero
medanoso: aplicaciones al abastecimiento de agua en
poblaciones rurales y al sustento de áreas naturales



Tesista: Galliari María Julieta

Directores: Dra. Álvarez María del Pilar

Dra. Canafoglia María Elena

“Procesos condicionantes de la calidad del agua subterránea en las zonas de borde continental del acuífero costero medanoso: aplicaciones al abastecimiento de agua en poblaciones rurales y al sustento de áreas naturales” M.J. Gallari

A Javi, Luqui y Vicen

INDICE

INDICE.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	IV
RESUMEN	VI
ABSTRACT	IX
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. OBJETIVO GENERAL DE LA TESIS	3
1.2. ÁREA DE ESTUDIO	4
CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA	6
2.1. GEOMORFOLOGÍA.....	6
2.2. GENERACIÓN DE REDES DE MONITOREO	7
2.2.1 Sector Sur:	10
2.2.2. Sector Central:.....	11
2.2.3. Sector Norte:	12
2.3. HIDROCLIMATOLOGÍA.....	12
2.3.1. Selección de las estaciones meteorológicas	12
2.3.2. Registro de precipitaciones y temperaturas	13
2.3.3. Estimación de la evapotranspiración potencial (ETP):.....	13
2.3.4. Balances hídricos.....	14
2.3.5. Clasificación climática T-M.....	14
2.4. REGISTRO DE MAREAS	15
2.5. LITOLOGÍA	15
2.5.1. Tareas de Campo.....	15
2.5.2. Tareas de Laboratorio	15
2.5.3. Tareas de Gabinete	16
2.6. HIDROLOGÍA.....	16
2.6.1. Tareas de campo	16
2.6.2. Tareas de laboratorio	18
2.6.3. Tareas de gabinete	19
2.7. MODELO HIDROLÓGICO CONCEPTUAL.....	20
CAPÍTULO 3: MARCO REGIONAL	20
3.1. CUENCA DEL SALADO	21
3.2. EVOLUCIÓN CUATERNARIA GEOLÓGICA Y GEOMORFOLÓGICA DE LA LLANURA COSTERA BONAERENSE.....	24
3.3. ESTRATIGRAFÍA GENERAL DE LA LLANURA COSTERA ATLÁNTICA BONAERENSE	30

3.4. ANTECEDENTES CLIMÁTICOS Y RÉGIMEN MAREAL DE LA LLANURA COSTERA ATLÁNTICA BONAERENSE.....	32
3.5. ANTECEDENTES HIDROGEOLÓGICOS DE LA LLANURA COSTERA ATLÁNTICA BONAERENSE	32
3.6. ANTECEDENTES PEDOLÓGICOS DE LA LLANURA COSTERA ATLÁNTICA BONAERENSE ...	34
CAPÍTULO 4: RESULTADOS	35
4.1. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO Y LITOLÓGICO	35
4.1.1. Sector Sur	39
4.1.2. Sector Central.....	45
4.1.3. Sector Norte	49
4.2. ANÁLISIS HIDROCLIMÁTICO	55
4.2.1. Selección de Estaciones Meteorológicas	55
4.2.2. Análisis de precipitaciones	56
4.2.3. Análisis de temperaturas.....	59
4.2.4. Evapotranspiración potencial (ETP)	60
4.2.5. Clasificación climática	60
4.2.6. Balances hídricos.....	60
4.3. RÉGIMEN MAREAL	62
4.4. ANÁLISIS HIDRODINÁMICO	63
4.4.1. Sector Sur	63
4.4.2. Sector Central.....	66
4.4.3. Sector Norte	70
4.5. ANÁLISIS HIDROQUÍMICO	75
4.5.1. Caracterización química y facies hidroquímicas	76
4.5.2. Análisis integral de facies hidroquímicas	94
4.5.3. Análisis de isótopos estables de la molécula de agua.....	97
4.5.4. Relaciones iónicas	99
4.5.5. Análisis de elementos minoritarios.....	111
4.5.6. Análisis de aptitud de agua	115
CAPÍTULO 5: MODELO GEOHIDROLÓGICO CONCEPTUAL.....	116
5.1. Procesos condicionantes de la composición química del agua.....	118
5.1.1. Modelo conceptual Sectores Sur y Central:.....	118
5.1.2. Modelo conceptual del Sector Norte:.....	122
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES	125
REFERENCIAS.....	128
ANEXOS	138

“Procesos condicionantes de la calidad del agua subterránea en las zonas de borde continental del acuífero costero medanoso: aplicaciones al abastecimiento de agua en poblaciones rurales y al sustento de áreas naturales” M.J. Galliani

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia, Javi, Luqui y Vicen por el acompañamiento y amor incondicional que me brindan día a día, por la paciencia en mis largas ausencias, por estar siempre, ser mi motor y esperarme con los brazos abiertos. Infinitamente gracias....

Mi mayor agradecimiento a Eleo por el apoyo brindado desde el inicio hasta el fin de la tesis, tanto en lo académico como en lo personal, por el acompañamiento diario, la preocupación y la calidez humana, por escucharme, apoyarme e incentivar me en todo momento.... sin ella este trabajo no hubiera sido posible.

A los chicos del CIG, Tano, Fran, Rosario, Paz, principalmente a Caro, a Guido y a Lu, por las salidas al campo, por el acompañamiento en laboratorio y por brindarme el apoyo siempre que lo necesite, por escucharme en mis momentos de crisis y por la colaboración para sacar adelante y hacer posible finalmente este trabajo. Por las correcciones y críticas, así como en la edición de las imágenes.

A mis directoras, Pili y María Elena, por las horas y tiempo de dedicación, preocupación y por los aportes que nutrieron este trabajo.

A Lía Botto, por las correcciones y colaboración en todo momento.

A la Dra. Karina Lecomte y a los Dres. Enrique Fucks y Héctor Massone por sus observaciones y sugerencias en la evaluación de esta tesis, las cuales contribuyeron a mejorar la misma.

A mis queridísimos padres por el apoyo incondicional en cada etapa de mi vida y por preocuparse siempre. Por despertarme el interés en la ciencia y por el aporte en este trabajo desde consejos a críticas. A mis suegros por estar siempre presentes, atentos y por acompañarme siempre. A mis queridos hermanos por alentarme día a día y apoyarme en las decisiones. A mis cuñadas y cuñados por estar cuando lo necesite, principalmente a Lupe por la colaboración en la edición de imágenes y a Cele por el asesoramiento.

A los chicos de Rayos X del CIG, Germán y Luis por la colaboración y la buena onda en el procesamiento de las muestras y análisis de los datos.

Al CIG por brindarme el espacio para el tratamiento de las muestras. A Claudia Dillelo por el procesamiento de muestras en el laboratorio del CIG.

Al CETMIC, en especial a Bárbara Lombardi, Celeste y Damián por su amabilidad y docencia durante mi pasantía.

A mis compañeros y amigos de Cátedra, a Mario, Lau, Maxi, Sabri, Eve, Pablo y Joaco, por el acompañamiento que me brindaron en este trayecto. A Pablo y Joaco, por el apoyo en procesamiento de muestras y por escucharme siempre que necesite.

A Mechi por el acompañamiento al campo y levantamiento topográfico y a Pete Soibelson por el asesoramiento y colaboración en determinadas cuestiones.

A mis tíos, Pitu y Carlos por la buena predisposición en el alojamiento para las salidas al campo.

A las personas que nos permitieron el acceso a sus propiedades para la toma de muestras y relevamientos. A Pablo Nazca, por el acceso a la Estancia San Bernardo, a Patricio Mc Loughlin

por la dedicación, el compromiso y el acompañamiento en cada campaña. A los pobladores de Mar de Ajó, Pavón y Mar del Tuyú.

A OPDS por autorizar el acceso a la Reserva Natural Punta Rasa, a Melina Lunardelli por el acompañamiento en las salidas de campo.

Al CEQUINOR, por brindarme el espacio de trabajo y los recursos necesarios para llevar adelante la tesis.

A CONICET por financiar este trabajo.

A la FCNyM UNLP, por brindarme la educación de grado y posgrado.

Y a todos aquellos que contribuyeron de alguna manera en este tiempo...

RESUMEN

La franja costera del litoral Atlántico bonaerense está constituida por un sistema de barreras litorales, espigas y playas interiores que evolucionaron a partir del último máximo glacial y que hoy siguen su evolución. El área de estudio se centra en el ambiente comprendido entre Punta Médanos-Punta Rasa, el cual presenta depósitos de crestas de playa asociados a la migración norte de las espigas litorales, a los que se superponen depósitos de médanos y mantos arenosos. Todos estos depósitos se comportan como acuíferos constituyendo ambientes geohidrológicos donde las condiciones geomorfológicas e hidrolíticas favorecen el almacenamiento de agua dulce de relevancia tanto para la población local como para las áreas naturales protegidas que allí se encuentran. Entre estos depósitos, los médanos costeros han sido ampliamente estudiados hidrogeológicamente, no entrando en detalle sobre los procesos geoquímicos que regulan la composición química del agua. Sin embargo, las acumulaciones de arena hacia el borde continental de estos depósitos, si bien son más delgadas, también son de suma importancia ya que el agua subterránea alojada en ellas es explotada para su consumo por las poblaciones rurales. Por otro lado, en el extremo norte de las espigas arenosas se encuentra la Reserva Natural Punta Rasa donde existen pequeñas lagunas costeras que interactúan con el flujo mareal que proviene de la zona de mezcla entre el Río de la Plata y el Mar Argentino. Cabe destacar que todas estas unidades constituyen ambientes extremadamente frágiles donde pequeños cambios naturales o antrópicos pueden deteriorar la calidad y cantidad del recurso hídrico. Acorde a esa problemática es objetivo general de la tesis, estudiar los procesos que condicionan la química del agua subterránea en zonas de borde continental del acuífero costero medanoso de la costa de Buenos Aires entre los 36°18'S y 36°52'S.

La metodología abordada implicó una primera etapa de recopilación de antecedentes y caracterización climática, una segunda etapa de definición de redes de monitoreo puntuales a través del estudio geomorfológico del área, para luego poder realizar las tareas de campo y su posterior procesamiento en laboratorio y por último el análisis de los resultados obtenidos en gabinete. Para ello se identificaron periodos de déficit y excesos hídricos a partir de balances hídricos. Se definieron y digitalizaron unidades geomorfológicas en un sistema de información geográfico (SIG) utilizando cartas topográficas, imágenes satelitales y Tandem-X90 Digital Model, las cuales fueron verificadas en campo. A partir de ello, y siguiendo criterios de variación espacial y temporal asociadas a la migración de la espiga, se diseñaron y realizaron 3 redes de monitoreo (Sur, Central y Norte). Cada red consta de puntos de monitoreo de aguas subterráneas (molinos y freáticos) y superficiales (laguna costera, mar, cañadas). La construcción de los freáticos permitió muestrear y caracterizar granulométrica y mineralógicamente a los sedimentos, tomar muestras de agua subterránea somera para su análisis y medir los niveles freáticos. Los monitoreos de la red fueron programados estacionalmente, desde noviembre-2017 a junio-2019. Las muestras de agua subterránea fueron tomadas mediante bombeo o extracción con bailer procurando realizar el purgado previo de los pozos, y las muestras de agua superficial se tomaron directamente del cuerpo de agua. La recolección, preservación y análisis químicos de las muestras de agua fueron realizados siguiendo métodos estandarizados, midiéndose in situ la conductividad eléctrica, temperatura y pH del agua.

Los resultados obtenidos indican que las unidades geomorfológicas que componen a las espigas se caracterizan por presentar granulometría y mineralogía poco variables. Principalmente son arenas finas compuestas por clastos de cuarzo, feldspatos, plagioclasas, anfíboles, piroxenos, líticos, fragmentos de conchillas, óxidos (magnetita) e hidróxidos de hierro. Por otro lado, se

destaca la presencia de evaporitas (halita, yeso) en forma de eflorescencias salinas. La importancia hidrogeológica de los distintos depósitos arenosos radica en que al ser unidades de alta permeabilidad facilitan la rápida infiltración del agua de lluvia. Allí, la recarga ocurre preferencialmente en periodos de excesos hídricos (entre abril y octubre) produciendo ascensos en el nivel freático. A su vez, el análisis de los flujos mareales permitió definir que en el sector norte del área de estudio, la recarga del agua subterránea se origina no solo por las precipitaciones sino también por la fuerte influencia mareal. Asimismo, se observó que la morfología y topografía de los depósitos arenosos condicionan la salinidad del agua, siendo dulce en aquellos de expresión topográfica más elevadas (medanos sobreimpuestos y mantos arenosos). Mientras que, en las crestas de playa, las cuales son topográficamente más bajas, el agua subterránea es salobre en aquellas ubicadas actualmente en zonas continentales y salina en las que presentan influencia mareal (ubicadas en el sector Norte). La composición química del agua subterránea está controlada por características propias de cada unidad geomorfológica. En el Sector Sur y Central, donde se desarrollan las mismas unidades geomorfológicas, la salinidad y composición química del agua subterránea es muy similar, mientras que en el Sector Norte las crestas de playa tienen influencia mareal, lo que produce marcados cambios en la salinidad y química del agua. En base a esto se generaron dos modelos conceptuales en donde se resumieron los principales procesos y variables que influyen en la composición química del agua de cada sector y unidad geomorfológica.

En el modelo del Sector Sur y Central la recarga del agua subterránea es producto de la rápida infiltración del agua de lluvia. Esta característica queda evidenciada en los valores de isótopos estables de la molécula de agua, los que son similares a los de la lluvia local o registran en ocasiones porcentajes muy bajos de evaporación previa a la infiltración. La composición química del agua queda entonces condicionada por la interacción del agua con los sedimentos. En las unidades de médanos sobreimpuestos y mantos arenosos, el agua de lluvia que infiltra reacciona con el $\text{CO}_{2(g)}$ presente en la zona no saturada y genera HCO_3^- y H^+ . Estos últimos propician la disolución de los carbonatos presentes en los sedimentos dando lugar a facies químicas de tipo Ca- HCO_3 . Por su parte, en las crestas de playa (actualmente en posición continental), el agua de lluvia al infiltrar reacciona con las sales solubles (yeso, halita) presentes en el suelo, aportando iones en solución (Cl^- , Na^+ , SO_4^{2-} y Ca^{+2}) y generando así mayor variabilidad en las facies hidroquímicas, desde Na-Cl a Na- HCO_3 . Los bajos entre las crestas presentan facies Na- HCO_3 y funcionan como sitios de descarga local y reciben también el aporte directo de agua de lluvia.

En el modelo del Sector Norte, la dinámica y la química del agua está fuertemente condicionada no solo por el aporte de las lluvias sino principalmente por la inundación mareal. Estos dos aportes se evidencian en la señal isotópica donde los valores de isótopos estables de la molécula de agua presentan valores asociados a una señal isotópica entre la lluvia local y el agua de mar. De esta manera, la composición química del agua está dominada por facies Na-Cl que responden no sólo a la mezcla de agua meteórica con agua de mar sino también a procesos de disolución de sales que se precipitan superficialmente por evaporación total del agua mareal en periodos de déficit hídrico. La evaporación y precipitación de sales y su posterior disolución ya sea por agua de lluvia como por agua mareal, está condicionada por los periodos de excesos o déficits hídricos, así como también por las pleamares. La influencia de varios factores (climáticos y mareales) conlleva a una elevada variabilidad en la salinidad y el contenido iónico del agua superficial y subterránea.

Respecto a la calidad química del agua subterránea, en el caso de los médanos sobreimpuestos y mantos arenosos ésta muestra valores aceptables en cuanto a la concentración de iones

mayoritarios, resultando una restricción el alto contenido natural de arsénico, hierro y manganeso. El aporte de As, podría atribuirse a la alteración del vidrio volcánico o a la desorción desde óxidos e hidróxidos de Fe y Mn. Con respecto al Fe y Mn, éstos pueden ser aportados por la alteración de minerales ferromagnesianos (como piroxenos o anfíboles) u óxidos e hidróxidos de hierro – manganeso. En cuanto a la calidad química en las crestas de playa ubicadas en zonas continentales, predominan aguas con contenidos no aceptables para uso humano, registrando concentraciones elevadas de distintos iones, tanto mayoritarios como minoritarios. Los resultados obtenidos en esta tesis permitieron generar información geohidrológica e hidrogeoquímica en zonas carentes de antecedentes. Esta información constituye un insumo básico en el manejo de los recursos hídricos de la región.

ABSTRACT

The coastal strip of the Atlantic coast of Buenos Aires consist of a system of coastal barriers, sand spits and inland beaches that evolved from the last glacial maximum and continue to evolve today. The study area focuses on the environment between Punta Médanos-Punta Rasa, presenting deposits of beach ridges associated with the northern migration of the coastal spits, on which deposits of dunes and sand sheets are superimposed. All these deposits behave as aquifers, constituting hydrogeological units of relevance for local populations and natural protected areas. Most of the geohydrological studies in the area focus on the coastal dunes and none towards the continental edge where the accumulations of sand, although thinner, concentrate the groundwater consumed by rural populations. On the other hand, at the northern end of the sand spits is the Punta Rasa Natural Reserve where there are small coastal lagoons that interact with the tidal flow that comes from the mixing zone between the Río de la Plata and the Atlantic Ocean. It should be noted that all these units constitute extremely fragile environments where small natural or anthropogenic changes can deteriorate the quality and quantity of the water resource. In this context, the general objective of the thesis is to study the processes that condition the chemistry of groundwater in continental border areas of the dune coastal aquifer on the coast of Buenos Aires between 36°18'S and 36°52'S.

The approached methodology involved a first stage of data collection and climatic characterization, a second stage of definition of punctual monitoring networks through the geomorphological study of the area, to then be able to carry out the field work. Finally, the samples were processed in the laboratory and the results obtained were analyzed in the cabinet. For this, periods of water deficit and excess were identified from water balances. Geographic information system (GIS), topographic maps, satellite images and Tandem-X90 Digital Model were used to define and digitalize geomorphological units that were then verified in the field. From this, and following criteria of spatial and temporal variations associated with sand spits migration, 3 monitoring networks (South, Central and North) were designed and carried out. Each network consists of monitoring points for groundwater (watermills and wells) and surface water (coastal lagoon, sea, fresh water bodies). The construction of the wells made it possible to sample and characterize the sediments granulometrically and mineralogically, take samples of shallow groundwater for analysis, and measure the phreatic levels. Network monitoring was scheduled seasonally, from November-2017 to June-2019. The groundwater samples were taken by pumping or extraction with a bailer, trying to purge the wells beforehand, and the surface water samples were taken directly from the body of water. The collection, preservation and chemical analysis of the water samples were carried out following standardized methods, measuring the electrical conductivity, temperature and pH of the water in situ.

The results obtained indicate that the geomorphological units that make up the sand spits are characterized by little variable granulometry and mineralogy. They are mainly fine sands composed of quartz clasts, feldspars, plagioclases, amphiboles, pyroxenes, lithics, shell fragments, oxides (magnetite) and iron hydroxides. On the other hand, the presence of evaporites (halite, gypsum) in the form of saline precipitates stands out. The hydrogeological importance of the different sandy deposits lies in the fact that, being units of high permeability, they facilitate the rapid infiltration of rainwater. There, recharge occurs preferentially in periods of excess water (between April and October), producing rises in the water table. In turn, the analysis of tidal flows allowed us to define that in the northern sector of the study area, groundwater recharge originates not only from rainfall but also from the strong tidal influence. Likewise, it was observed that the morphology and topography of the sandy deposits condition

the salinity of the water, being fresh in those with higher topographic expression (superimposed dunes and sand sheets). While, in the beach ridges, which are topographically lower, the groundwater is brackish in those currently located in continental areas and saline in those with tidal influence (located in the northern sector). The chemical composition of the groundwater is controlled by the characteristics of each geomorphological unit. In this sense, the South and Central Sector, where the same geomorphological units are developed, the salinity and chemical composition of the groundwater is very similar, while in the North sector the beach ridges have a tidal water influence, which produces marked changes in the salinity and chemistry of the water. Based on this, two conceptual models were generated in which the main processes and variables that influence the chemical composition of the water in each sector and geomorphological unit were summarized.

In the model of the South and Central sectors, groundwater recharge is the product of rapid infiltration of rainwater. This characteristic is evidenced in the values of stable isotopes of the water molecule, which are similar to those of local rain or sometimes recording very low percentages of evaporation prior to infiltration. The chemical composition of the water is then conditioned by the interaction of the water with the sediments. In the units of superimposed dunes and sand sheets, the rainwater that infiltrates reacts with the $\text{CO}_2(\text{g})$ present in the unsaturated zone and generates HCO_3^- and H^+ . The latter favor the dissolution of the carbonates present in the sediments, giving rise to chemical facies of the Ca- HCO_3 type. On the other hand, in the beach ridges (currently in a continental position), when rainwater infiltrates, it reacts with the soluble salts (gypsum, halite) present in the soil, contributing ions in solution (Cl^- , Na^+ , SO_4^{2-} and Ca^{+2}) and thus generating greater variability in the hydrochemical facies, from Na-Cl to Na- HCO_3 . The shoals between the beach dunes ridges present Na- HCO_3 facies and function as local discharge sites and also receive the direct contribution of rainwater.

In the North Sector model, the contribution of the rains and tidal flooding strongly conditioned the dynamics and chemistry of the water. The isotopic signal evidenced these two contributions given that the stable isotope values of the water molecule present values associated with an isotopic signal between local rain and seawater. In this way, the chemical composition of the water is dominated by Na-Cl facies that respond not only to the mixture of meteoric water with seawater but also to processes of dissolution of salts that precipitate on the surface by total evaporation of tidal water in periods of water deficit. The evaporation and precipitation of salts and their subsequent dissolution, by either rain or tidal water, is conditioned by periods of water excess or deficit, as well as by high tides. The influence of various factors (climatic and tidal) leads to high variability in salinity and ionic content of surface and groundwater.

Regarding the chemical quality of the groundwater from the superimposed dunes and sand sheets, it shows acceptable values in terms of the concentration of major ions. However, the high natural content of arsenic, iron and manganese impose a restriction for its consumption. The contribution of As could be attributed to the alteration of the volcanic glass or to the desorption from oxides and hydroxides of Fe and Mn, while the contribution of Fe and Mn comes from the alteration of ferromagnesian minerals (such as pyroxenes or amphiboles) or iron-manganese oxides and hydroxides. On the other hand, the chemical quality of the water from the beach ridges located in continental areas is not acceptable for human consumption given the high concentrations of different ions registered, both major and minor. The results obtained in this thesis allowed the generation of geohydrological and hydrogeochemical information in areas lacking precedents. This information constitutes a basic input in the management of water resources in the region.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

El agua subterránea es uno de los mayores recursos naturales y muchas veces representa la única fuente alternativa de agua para consumo. Durante las últimas décadas se ha observado que el uso intensivo de los recursos naturales y el aumento de las actividades antrópicas, han generado grandes variabilidades en lo que respecta a la hidroquímica e hidrodinámica en los acuíferos freáticos, representando así, una gran amenaza para la calidad del agua (Foster 1995; Mor et al. 2006). A su vez, tanto la calidad como la cantidad de agua subterránea disponible varían de acuerdo a las características geomorfológicas asociadas al acuífero que las contiene. Así, por ejemplo, en muchos de los acuíferos cercanos a la franja costera marina, el agua subterránea es predominantemente salina. Esto se debe, en parte, a que las fluctuaciones del nivel del mar producto del cambio climático durante el Cuaternario han llevado a la formación de llanuras costeras (Van dePlasche, 1994; Semeniuk, 1996) que están influenciadas tanto por las ingresiones marinas que las originaron, así como por la intrusión actual de agua de mar (Vandenbohede y Lebbe, 2012). En estas geoformas, los sedimentos finos y de baja permeabilidad conllevan a que, cuando el agua de lluvia infiltra se disuelvan las sales de los sedimentos (Pyzoha et al., 2008; Ahlhorn, 2018; Lee et al., 2018; Carol et al. 2008; Carol et al., 2013). Sin embargo, las fluctuaciones del nivel del mar también han contribuido a la formación de espigas arenosas y crestas de playa generalmente con médanos sobreimpuestos. Estas geoformas positivas debido a su alta permeabilidad favorecen la infiltración continua de agua de lluvia (Collins y Easley, 1999; Ruppel et al.; 2000; Stuyfzand, 2017; Greggio et al., 2018). Esta continua recarga preferencial y localizada de agua dulce, propicia la formación de lentes que rara vez tienen grandes espesores (Bear, 1979). Además de los factores geomorfológicos mencionados, la composición química del agua subterránea puede ser influenciada por los procesos naturales resultantes de la interacción de factores climáticos y geológicos. De esta manera, el grado de meteorización química de los diversos tipos minerales y sus alteraciones (Domenico y Schwartz 1998; Guler y Thyne 2004; Ayenew et al.2008; Giridharan et al.2008; Aly 2015), la composición del agua de recarga, la interacción del agua con los sedimentos del acuífero (Appelo y Postma, 2005; Hallett et al., 2015; Smedley y Kinniburgh, 2002) así como la interacción del agua subterránea con el agua superficial, también influyen en su composición química. En ocasiones, dichas interacciones pueden dar lugar a que la concentración de determinados elementos químicos en el agua subterránea, alcancen ciertos valores, los cuales pueden resultar nocivos tanto para la salud humana como para el estado de los ecosistemas (Ehya y Marbouti 2016).

En particular, la franja costera del litoral Atlántico bonaerense está constituida por un sistema de barreras litorales, espigas y playas interiores que evolucionaron a partir del último máximo glacial y que hoy prosiguen con su desarrollo. Dentro de esta franja, se encuentra el área de estudio (Figura 1), la cual se centra en el sistema de espigas arenosas y sus depósitos asociados, extendiéndose desde Punta Médano hasta Punta Rasa, constituyendo ambientes geohidrológicos donde las condiciones geomorfológicas e hidrolíticas favorecen el almacenamiento de agua dulce (Auge, 2004; Carol et al., 2013; CFI 1990a y b; Carretero, 2011; Carretero et al., 2013; Carretero y Kruse 2014; Carretero et al., 2014; Carretero et al., 2016). Dichas unidades no solo constituyen las actuales fuentes de agua explotadas para abastecimiento, sino que, además, tienen un rol ecológico importante para el sustento de diversos ecosistemas, como las zonas naturales protegidas que se desarrollan en el área (Refugio Natural Vida Silvestre San Bernardo-Los Ñandúces y la Reserva Natural Punta Rasa) (Figura 1). Cabe destacar que hacia el este, sobre las espigas arenosas se desarrolla el actual cordón costero

medanoso, el cual aloja al acuífero freático de agua dulce (González, 2005) utilizado para abastecimiento de la población del Partido de La Costa (Figura 1). Los vastos estudios geohidrológicos llevados a cabo en este acuífero se enfocan principalmente en la calidad y dinámica de sus aguas (CFI, 1990a; Carretero et al., 2013; Carretero y Kruse, 2014; Carretero et al., 2014; Carretero et al., 2016; Gómez, 2021), no entrando en detalle sobre los procesos geoquímicos que regulan la composición química del agua. A su vez, hacia el sector occidental del borde del cordón costero medanoso cercano a la Ruta Provincial N°11 (RP11), no existen estudios del funcionamiento hidrológico de la zona. Allí las pequeñas lentes de agua dulce alojadas en los depósitos arenosos asociados a la evolución de dichas espigas, son explotadas tanto por los pobladores de puestos y estancias, como aquellos residentes de los de parajes rurales, tal es el caso de Pavón (Figura 1). En este sector de borde más continental, que limita con las llanuras de mareas salinas (Carol et al., 2008), no solo es de importancia para los pobladores del área, sino también para el sustento de los diversos ecosistemas. Asimismo, cabe destacar que las características ambientales que sustentan los ecosistemas (Rodríguez-Revelo et al., 2018) están íntimamente ligadas con la dinámica y química del agua subterránea (Tanjál et al., 2017). En estos ambientes existe un delicado equilibrio hidrológico entre los distintos procesos que regulan la interacción agua dulce – salina (Walraevens y Van Camp, 2005; Mollema y Antonelli, 2013) y por lo tanto la calidad del agua subterránea que abastece a los pobladores y sustenta los ecosistemas.

Por otro lado, hacia el extremo distal norte de dichas espigas arenosas, existe una zona de mezcla del estuario exterior del Río de la Plata y el Mar Argentino, que le otorga condiciones ecológicas particulares, permitiendo el sustento de una gran biodiversidad. Cabe destacar que dicho sector fue declarado en 1991 como Reserva Natural Municipal por su importancia y valoración de sus humedales, dando lugar a la Reserva Natural Punta Rasa (Figura 1). Las características hidrogeomorfológicas de los humedales son responsables de la mayor parte de su funcionamiento físico, químico y biológico (Brinson, 1993). Asimismo, la dinámica entre los flujos de agua superficial, subterránea que son a su vez controlados por la marea, condicionan la química del agua de este tipo de humedales (Brinson, 1993; Ladouche y Weng, 2005; Montalto et al., 2006; Pousa et al., 2007; Carol et al., 2009; Tosi et al., 2009; De Franco et al., 2009; Tosi et al., 2013; Carol et al., 2011; Moussa et al., 2011; Teatini et al., 2011; Da Lio et al., 2013, Anderson y Davis 2013; Álvarez et al., 2015; Santucci, 2020).

Comprender los procesos geohidrológicos que regulan la presencia y calidad del agua es fundamental para fijar pautas de manejo del recurso hídrico que aseguren el abastecimiento de agua potable a la población y preserven los ecosistemas, principalmente en aquellos sectores donde el agua subterránea dulce es escasa (Vengosh et al., 2005; White et al., 2007; Huizer et al., 2016).

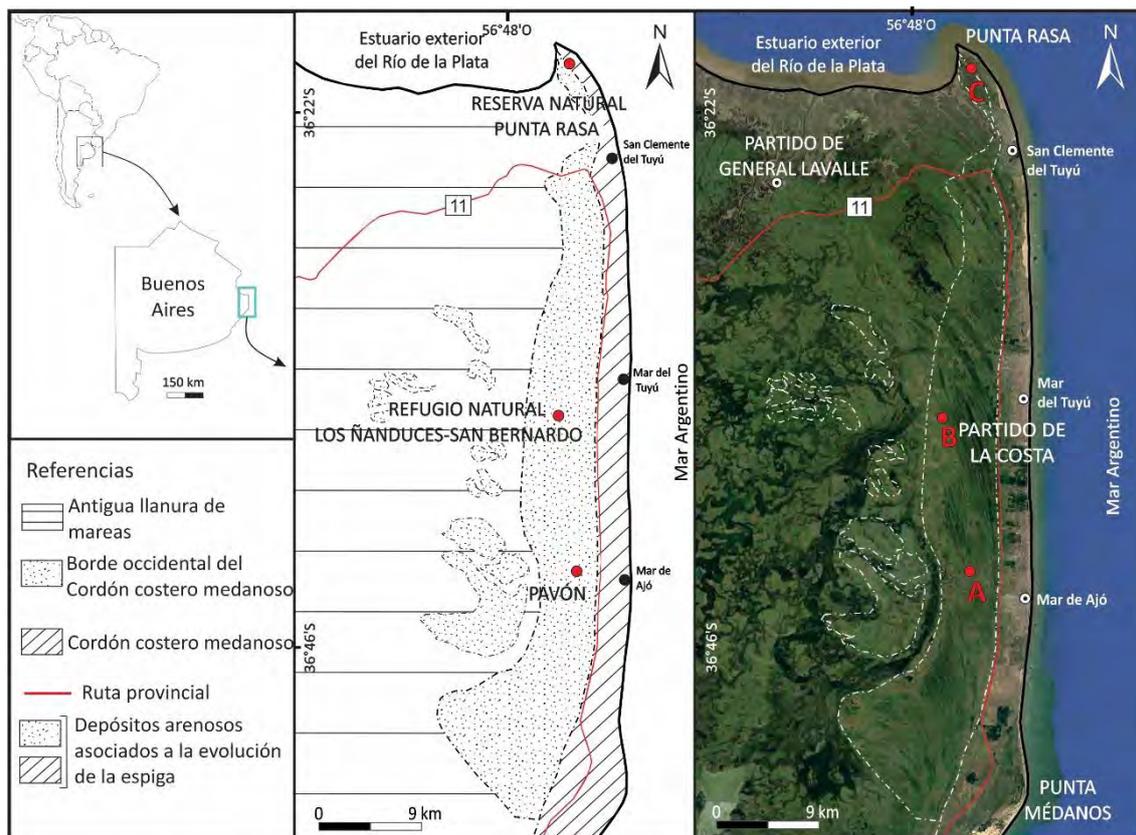


Figura 1. Ubicación del área de estudio, en rojo se señalan los tres sitios donde se instalaron las redes de monitoreo, donde A señala el Sector Sur, B el Sector Central y C el Sector Norte.

1.1. OBJETIVO GENERAL DE LA TESIS

El objetivo general de la tesis es estudiar los procesos que condicionan la química del agua subterránea en zonas de borde continental del acuífero costero medanoso de la costa de Buenos Aires entre los paralelos $36^{\circ}18'S$ y $36^{\circ}52'S$.

Para cumplir con el objetivo general de la tesis se presentan los siguientes objetivos específicos:

- Analizar las variaciones espaciales que presentan las acumulaciones arenosas a lo largo del borde continental del cordón medanoso, así como las geoformas lindantes asociadas.
- Estudiar las fases minerales presentes dentro de los sedimentos que alojan al acuífero y su potencial rol en la adquisición de iones durante el proceso de interacción agua-sedimento.
- Analizar la variabilidad espacial y temporal que presenta la química en el agua subterránea y estudiar su relación con los procesos de recarga y litología del acuífero.

Hipótesis

Las espigas arenosas y cordón medanoso de la costa centro-norte de la provincia de Buenos Aires alojan lentes lente de agua subterránea dulce producto de la infiltración del agua de lluvia. Hacia el límite oeste el cordón medanoso limita con sedimentos arcillosos de ambientes de llanuras costeras que alojan agua subterránea salina. Se postula como hipótesis que las características químicas del agua subterránea están condicionadas, por un lado, por las variaciones geomorfológicas que presentan espacialmente las espigas, y por otro por la interacción con el agua superficial y subterránea salina adyacente.

Las variaciones geomorfológicas, así como las características litológicas o permeabilidad del sedimento incidirían principalmente en el proceso de recarga y en la interacción agua-sedimento. Estos procesos condicionan la cantidad y calidad del agua subterránea utilizada para abastecimiento y las características ambientales de las zonas naturales protegidas.

1.2. ÁREA DE ESTUDIO

Como se mencionó anteriormente, el área de estudio se localiza en la franja costera del litoral Atlántico bonaerense, donde se ha desarrollado, a partir de eventos transgresivos-regresivos, la superposición de barreras litorales holocenas, que actualmente continúan su evolución. En particular, se centra en el ambiente Punta Médanos -Punta Rasa (Figura 1), cuyas espigas arenosas crecen con sus puntas hacia el continente y en dirección noroeste (Tricart, 1973; Bértola, 1995). Estas espigas, hacia el este sustentan el desarrollo del cordón costero medanoso que corre paralelo a la costa y que en su misma dirección alcanza su máximo desarrollo en el sector de Punta Médanos (CFI, 1990a) mientras que, hacia el oeste se manifiestan como suaves ondulaciones hasta desaparecer en las antiguas llanuras de mareas. Estas llanuras son áreas deprimidas e inundables que drenan sus aguas por medio de cañadones o cañadas (CFI, 1990a; Violante et al., 2001) los cuales, hacia el norte, se convierten canales de marea que desaguan en el estuario exterior del Río de la Plata, donde se desarrollan marismas con canales mareales que los comunican con el mar. Cabe destacar que en este sector se encuentra la confluencia de dos sistemas, el estuario exterior del Río de la Plata hacia el oeste y noroeste y el Mar Argentino hacia el este (Bértola et al., 1993), generando un ambiente complejo y muy dinámico (Figura 1). Por otro lado, resulta de suma importancia destacar la relevancia ecológica que poseen la Bahía Samborombón y el Partido de General Lavalle, ya que en las marismas se desarrollan cangrejales (Bértola, 1995) y los pastizales naturales representan una de las extensiones más importantes para el desarrollo de la biota característica del ambiente pampeano bonaerense.

Respecto a la población que habita el área de estudio, la misma se abastece de agua subterránea alojada en las espigas y depósitos arenosos asociados. En este sentido, es importante mencionar que, hacia el sector sur y centro de la zona de estudio, se asientan parajes rurales y puestos de estancias (Figura 1) donde si bien la densidad poblacional es baja, contando con 3.700 habitantes para el partido de General Lavalle (INDEC, 2010), en las últimas décadas se ha incrementado considerablemente. Sin embargo, hacia el norte, en el ámbito de Punta Rasa, no existen asentamientos poblacionales, predominando ambientes naturales protegidos.

Debido a las características antes presentadas se definieron 3 áreas de monitoreo representativas, las cuales serán abordadas en mayor detalle para luego integrarlas en un análisis comparativo. Dichas áreas son: el Sector Sur, el Sector Central, y el Sector Norte. Cabe aclarar que serán descriptas siguiendo el sentido evolutivo del ambiente litoral, comenzando por el Sector Sur, Central y Norte, respectivamente (Figura 1).

El Sector Sur está representado por una transecta este-oeste que abarca Mar de Ajó (perteneciente al Partido de La Costa) y el Paraje Pavón (Partido de General Lavalle). Ambas localidades se caracterizan por ser zonas urbanizadas, desarrolladas sobre los depósitos arenosos asociados a las espigas arenosas. En Pavón las calles en general son de tierra, y en algunos casos pueden contar con servicios básicos, como el suministro de agua potable y tendido eléctrico. En las áreas donde existen dichos servicios, el agua es suministrada a través de una planta potabilizadora municipalizada, la cual extrae, agua subterránea a través de perforaciones. Mientras que, en los sectores donde no llega la red de agua potable, los

pobladores se abastecen a partir de bombas de extracción domiciliarias que interceptan el acuífero freático a los 4 – 6 m de profundidad. En particular, estas perforaciones se emplean tanto para el abastecimiento de consumo humano como para el de ganado o los animales de granja. Por su parte, en Mar de Ajó las calles están mayormente asfaltadas y cuentan casi en su totalidad con suministro de agua potable. Con respecto a la vegetación, si bien es posible detectar sectores naturales, los suelos se encuentran totalmente modificados por el asentamiento urbano en ambos sectores.

El estudio de detalle en el Sector Central se ha realizado en una transecta con orientación este-oeste que corre desde el Partido de La Costa (en la localidad de Mar del Tuyú) hacia al Partido de General Lavalle, donde se encuentra ubicada la Estancia San Bernardo-Los Ñandúces. Aquí la densidad poblacional es menor respecto al Sector Sur, caracterizado por presentar en Mar del Tuyú pequeñas urbanizaciones, las cuales se abastecen de perforaciones domiciliarias que interceptan el acuífero freático. Hacia el oeste de la RP11, la pequeña población está representada de forma aislada por pequeños puestos de estancias que se abastecen a partir de molinos y perforaciones domiciliarias que interceptan el acuífero freático. Por su parte, la Estancia San Bernardo- Los Ñandúces es un establecimiento de 4816 hectáreas (Los Ñandúces 2007 ha y San Bernardo 2809 ha), que en el año 2015 fue designado como **Refugio Natural Vida Silvestre San Bernardo- Los Ñandúces** (Figura 1) con el objetivo de conservar ambientes pampeanos de pastizal, palustres y talar; promover y desarrollar actividades de ganadería sustentable en pastizales naturales y desarrollar actividades educativas y de extensión ambiental (Fundación Vida Silvestre, 2014). Asimismo, vale mencionar, que, si bien las lentes de agua subterránea tienen importancia ambiental ya que sustentan las especies nativas presentes en el Refugio, también son relevantes para el abastecimiento de los pobladores rurales que allí residen, ya sea a través de molinos o perforaciones domiciliarias de aproximadamente 6 m de profundidad.

Por otro lado, el Sector Norte, representado por la **Reserva Natural Punta Rasa**, se haya ubicado en el Partido de La Costa y a 5 km de la localidad de San Clemente del Tuyú. La principal vía de acceso es la RP11. Dentro de este sector, el sitio de monitoreo se ubica en el extremo distal norte de las espigas arenosas (Figura 1), donde confluyen el estuario exterior del Río de la Plata y el Mar Argentino, característica que la hacen distintiva al resto de las costas del litoral argentino. La relevancia de este sector se debe a que, a pesar de la ausencia de población residente, la interrelación mar-estuario hace que este sitio sea sumamente importante para el sustento de un ecosistema muy variado. Por esta razón, aquí se ubica la estación biológica de la Fundación Vida Silvestre Argentina, creada en el año 1984 para la realización de estudios concernientes a la biodiversidad del lugar. Su función principal es la conservación de aves migratorias costeras, las cuales arriban estacionalmente, por lo que resulta indispensable la preservación de la diversidad biológica y el ecosistema que la alberga. Esta zona alberga también dos especies de cangrejos el Cangrejo de Estuario y otro más pequeño el Cangrejo Violinista que viven en la costa a distintos niveles del ambiente intermareal (Spivak, 2016) así como en los canales mareales inundados por la acción de las mareas ordinarias. Con respecto a la flora, se pueden observar zonaciones de las especies según la topografía y al alcance del flujo mareal. (Bértola et al., 1993).

Finalmente, y a modo de resumen, respecto de los sectores Sur, Central y Norte, se destaca entonces que, en el Sector Sur la evolución de las espigas arenosas y sus depósitos asociados son importantes desde el punto vista del abastecimiento de las poblaciones que allí se asientan. Asimismo, hacia el Sector Central, las lentes de agua dulce vinculadas a la evolución de las

espigas no solo sustentan diversos ecosistemas naturales, sino que además abastecen la población que allí habita y el ganado que allí se cría. Y por último en el Sector Norte, las espigas se relacionan a un ambiente con influencia mareal, que sustenta un ecosistema declarado Reserva Natural.

CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA

En este capítulo se describirán los distintos procedimientos y técnicas utilizadas para alcanzar los objetivos planteados. Las tareas implican una primera etapa de recopilación de antecedentes, una segunda etapa de definición de redes de monitoreo locales o puntuales a través del estudio geomorfológico del área, para luego poder realizar las tareas de campo y su posterior procesamiento en laboratorio y análisis de los resultados obtenidos en gabinete.

2.1. GEOMORFOLOGÍA

Debido a que se postula como hipótesis que las características químicas del agua subterránea y el comportamiento geohidrológico están condicionadas por las variaciones geomorfológicas que presentan espacialmente las espigas y los depósitos eólicos asociados, éstas han sido analizadas a partir de cartas topográficas, imágenes satelitales del software Google Earth y un modelo digital del terreno.

Se utilizaron las hojas topográficas levantadas por el Instituto Geográfico Militar (IGM, actualmente Instituto Geográfico Nacional-IGN), entre el periodo 1936-1965. Las hojas topográficas utilizadas para cubrir la zona de estudio fueron: Estancia Rincón de Ajó (3757-9-2), General Lavalle (3757-10-1), San Clemente del Tuyú (3757-10-2), Estancia El Tuyú (3757-10-3), Santa Teresita (3757-10-4), Estancia El Regreso (3757-16-1), Mar de Ajó (3757-16-2), Estancia San José de Las Chilcas (3757-16-3) y Faro Punta Médanos (3757-16-4). Las mismas poseen una escala 1:50.000 y equidistancia entre curvas topográficas de 2,5 m. Asimismo, se empleó el modelo de elevación digital (MDE) TanDEM-X 90m (EOC Geoservice, 2019), el cual fue incorporado a un Sistema de Información Geográfico (SIG).

Los trazados de las unidades geomorfológicas del área fueron realizados en formato digital mediante el software QGis 2.16, con las herramientas de digitalización del SIG utilizando en conjunto las cartas topográficas, imágenes satelitales y el MDE TanDEM-X 90m (Figura 2.1.).

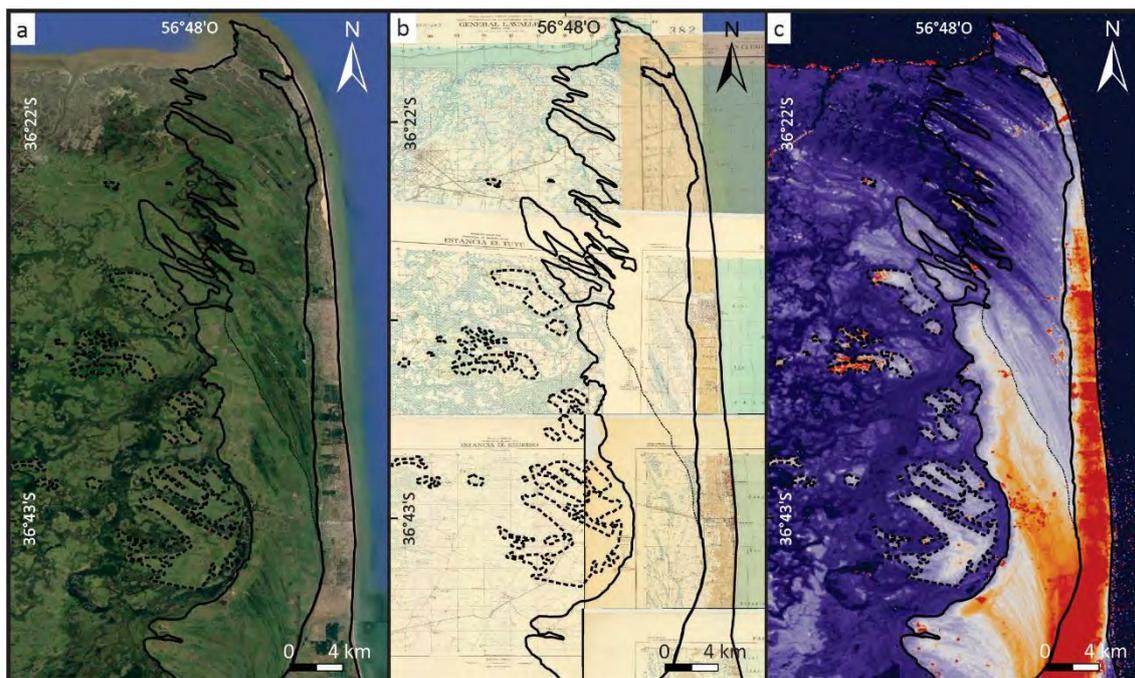


Figura 2.1. Trazado geomorfológico con la herramienta SIG, combinando a-Imágenes Satelitales, b- cartas topográficas y c- MDE TanDem-X90m.

2.2. GENERACIÓN DE REDES DE MONITOREO

A partir del mapeo geomorfológico se diagramaron tres redes de monitoreo de agua superficial y subterránea. Se generó una red hacia el sur del área de estudio ubicada en el Paraje Pavón, otra en el sector central donde se ubica el Refugio Natural Vida Silvestre Estancia San Bernardo-Los Ñandúces y, por último, en el extremo norte, donde se encuentra la Reserva Natural Punta Rasa (Figura 2.2). Estas zonas fueron seleccionadas ya que se consideran como representativas de las variaciones espaciales y temporales asociadas a la migración de las espigas.

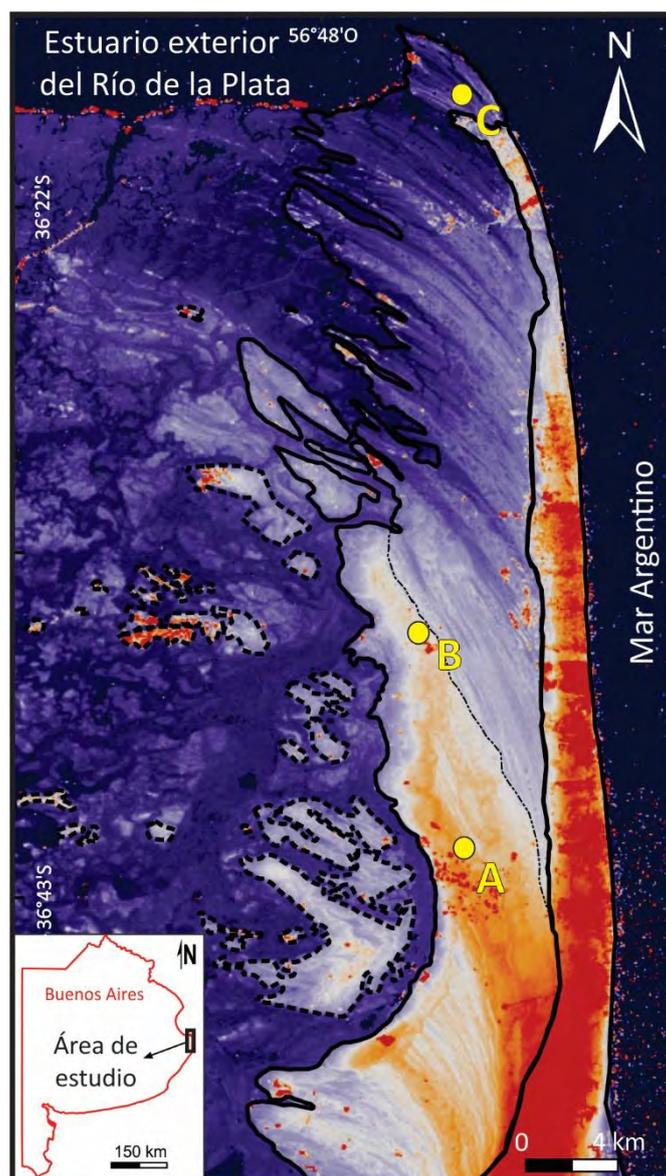


Figura 2.2. Ubicación de las redes de monitoreo en el área de estudio representadas por los círculos amarillos: A Sector Sur (Paraje Pavón); B- Sector Central (Refugio Natural Vida Silvestre Estancia San Bernardo – Los Ñandúces); y C-Sector Norte (Reserva Natural Punta Rasa).

La elección de los puntos en las redes de monitoreo de agua subterránea y agua superficial varió de acuerdo con criterios geomorfológicos y a la disponibilidad y posibilidad de acceso a los pozos preexistentes en las zonas antes mencionadas. En aquellos casos en los que no se contaba con pozos preexistentes, en una primera instancia, se procedió a la construcción de pozos de exploración someros de 2 m de profundidad mediante barreno manual de 3 pulgadas de diámetro (Fig. 2.3). Luego, debido a que en los meses de verano algunos freáticos se encontraron secos o colmatados de arena, se realizaron nuevas perforaciones a una profundidad aproximada de 5,3 m por medio de inyección de agua (Fig. 2.4). En las perforaciones se instalaron freáticos, los cuales fueron entubados con caños de PVC de 2 pulgadas ranurados de forma continua, con una malla plástica adosada (Figura 2.3b y c), prefiltro de grava silíceo bien seleccionada y sello en la parte superior (Fig. 2.3d). En ambos casos, a medida que se profundizaba el pozo se procedió a la extracción del sedimento para su posterior caracterización en laboratorio. Las muestras obtenidas mediante ambas metodologías difieren en que, con el método del barreno

manual se conoce con mayor precisión la profundidad a la cual pertenece la muestra, en cambio con la segunda metodología se obtiene una mezcla del sedimento con agua del tramo avanzado. Sin embargo, en ambos casos las muestras obtenidas se encuentran disturbadas.

Finalmente, completada la instalación de la red de monitoreo, se procedió a la nivelación en boca de pozo de los freatímetros por medio del empleo de GPS diferencial Trimble® R2 el cual consta de una unidad compacta que utiliza un modo de Posicionamiento a tiempo real RTX con una precisión horizontal de 4 cm y vertical de 9 cm. En este caso el GPS se posiciona directamente sobre el punto a medir sin necesidad de otro sitio de control (Figura 2.5.).



Figura 2.3. Fotos tomadas en campo durante la construcción de los pozos de exploración someros: a- Corresponde al barreno manual; b- Caño de PVC ranurado; c- Colocación de malla plástica en el caño de PVC ranurado; d- Freatímetro terminado.



Figura 2.4. Foto tomada en campo durante la construcción de los freáticos construidos a profundidades máximas de 5,3 m.



Figura 2.5. Foto tomada en campo durante la nivelación a boca de pozo con GPS diferencial.

2.2.1 Sector Sur:

En el Sector Sur, la red de monitoreo consta en 15 puntos de muestreo de agua subterránea (Figura 2.6.), de los cuales 7 corresponden a pozos domiciliarios y 9 a freáticos someros (2 m de profundidad) para la medición de niveles freáticos y toma de sedimentos.

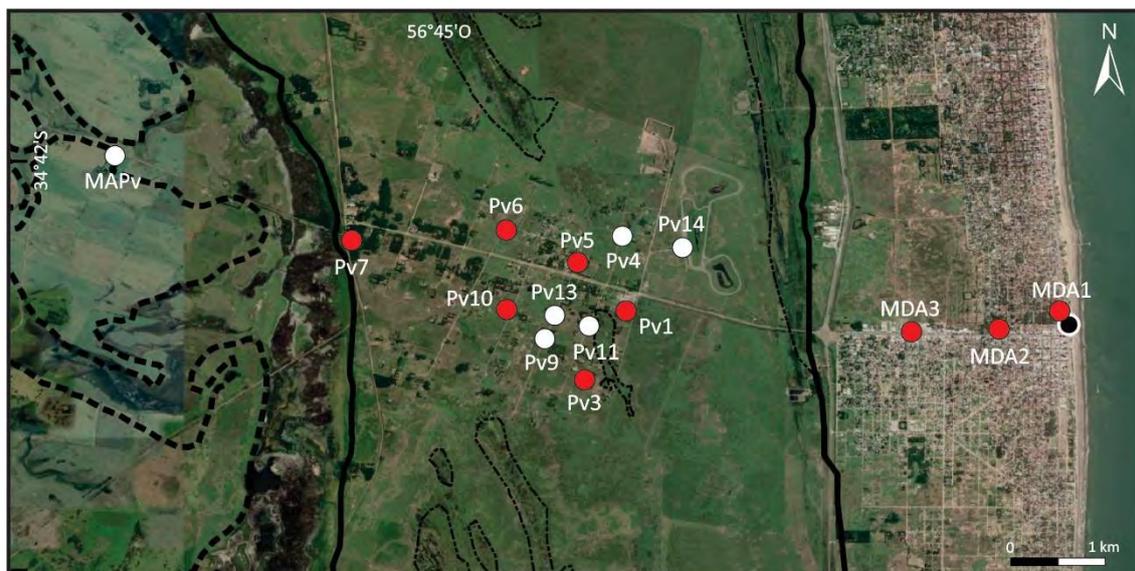


Figura 2.6. Red de monitoreo del Sector Sur. Los círculos blancos representan los puntos de extracción de agua subterránea domiciliar y los rojos los freáticos someros.

2.2.2. Sector Central:

En la transecta que corre desde Mar del Tuyú hacia el Refugio Natural Estancia San Bernardo – Los Ñandúces se diseñó una red de monitoreo de agua subterránea y superficial (Figura 2.7.). Dicha red consta de 38 puntos de muestreo, donde 2 corresponden a agua superficial y 36 a agua subterránea, estos últimos comprenden tanto molinos (8 m de profundidad) como freáticos someros (hasta 5,5 m profundidad). Dichos freáticos abarcan 8 freáticos preexistentes en el área y 2 construidos para la toma de sedimentos y medición del nivel freático.

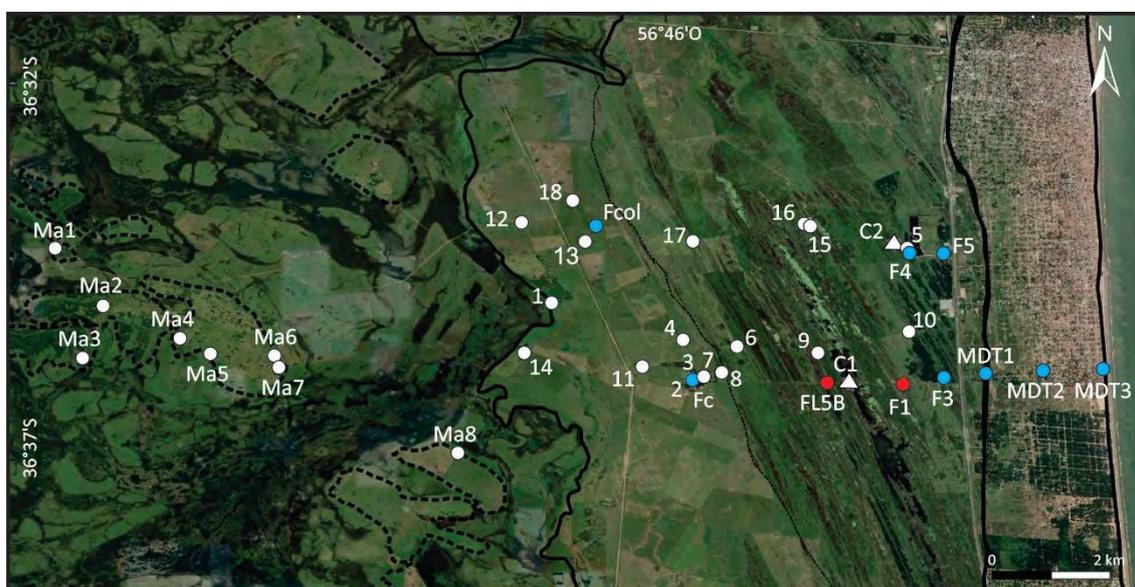


Figura 2.7. Red de monitoreo del Sector Central. Los círculos representan los puntos de extracción de agua subterránea, donde los blancos corresponden a molinos, los celestes freáticos preexistentes y los rojos a freáticos construidos durante los trabajos de campo. Los triángulos blancos representan los puntos de extracción de agua superficial.

2.2.3. Sector Norte:

Hacia el norte, la red cuenta con 16 puntos de monitoreo de los cuales 8 corresponden a agua superficial y 8 a agua subterránea (Figura 2.8.). Respecto al agua subterránea, se procedió a la construcción de freáticos someros tanto para la toma de la muestra de agua como para la medición del nivel freático en los mismos. Asimismo, durante su construcción se tomaron muestras de sedimentos, para su posterior análisis en laboratorio.



Figura 2.8. Red de monitoreo del Sector Norte. Los círculos representan los puntos de extracción de agua subterránea, correspondientes a freáticos someros. Los triángulos representan los puntos de extracción de agua superficial.

2.3. HIDROCLIMATOLOGÍA

El origen principal de las aguas subterráneas en la zona de estudio es la infiltración del agua de lluvia caída sobre el terreno. Dado que el agua de lluvia es un fenómeno meteorológico, el conocimiento y caracterización del clima de una zona es fundamental para el estudio de la hidrogeología. Además de este parámetro, es fundamental también conocer la evapotranspiración potencial (ETP), la cual se estima a través de las variables meteorológicas como la temperatura, la radiación solar, la presión atmosférica, la humedad del aire, el viento y la insolación. La medición de estos parámetros o variables climáticas se realiza a partir de estaciones meteorológicas, las que proporcionan mediciones puntuales en el espacio y en el tiempo de cada variable. En este apartado se explicará la metodología para el análisis de dichos parámetros y la estimación de otros en función de ellos, como la evapotranspiración real (ETR).

En general, se considera adecuado un periodo mínimo de 30 años de datos para poder definir las variables meteorológicas de una zona determinada con un mínimo de fiabilidad y tener una apreciación de las condiciones medias sobre las que se rigen los balances hídricos.

2.3.1. Selección de las estaciones meteorológicas

Para evaluar los datos meteorológicos en el área de estudio se tuvo en cuenta su representatividad (cercanía al sitio), extensión (series mayores a 30 años) y garantía (confiabilidad). Para ello se han consultado por un lado fuentes de datos de precipitaciones y

temperaturas cercanas al área de estudio correspondientes a estaciones pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional (SMN), como son: Estación Ezeiza, Estación Dolores Aero, Estación Santa Teresita Aero, y Estación Punta Indio (BAPI). La información recopilada corresponde a datos históricos y actuales. Sin embargo, la extensión de los datos y la frecuencia de la toma de los mismos, no son iguales en todas las estaciones.

Asimismo, se evaluaron los datos de precipitaciones otorgados por la Sociedad Rural de General Lavalle, los cuales son recogidos por los pobladores de diversas estancias cercanas al área de estudio. Dentro de ellas fueron seleccionados los pluviómetros ubicados en la Estancia La Esperanza y Estancia San Bernardo, debido no solo a la cercanía a la zona de estudio sino también la extensión y frecuencia de los datos tomados, ya sean históricos como actuales.

Una vez seleccionada la información procedente del SMN y Sociedad Rural de Gral. Lavalle se procedió a la comprobación del funcionamiento de las estaciones seleccionadas, a partir de un análisis de control de doble masa o doble acumulación (Heras, 1972). El análisis se llevó a cabo a partir de los datos obtenidos de los registros de las distintas estaciones pluviométricas donde se representó en un gráfico XY las precipitaciones acumuladas de la estación a comprobar su funcionamiento en relación a la media de las precipitaciones acumuladas de las otras estaciones. De ese modo, se pudo verificar el correcto funcionamiento de dichas estaciones y evaluar la garantía de los datos obtenidos. Si el funcionamiento de la estación a comprobar es correcto se dará una relación de proporcionalidad sin quiebres en la recta.

A partir de la representatividad, extensión de los datos y garantía de la estación, se seleccionaron 3 estaciones principales para la evaluación de las precipitaciones: Estación Dolores Aero, Estancia La Esperanza y Estancia San Bernardo. Para el análisis de las temperaturas fue seleccionada la Estación Dolores debido a su cercanía y a que los registros actuales son diarios.

2.3.2. Registro de precipitaciones y temperaturas

Se han realizado series pluviométricas a partir del cálculo de promedios anuales de precipitaciones en cada estación, permitiendo así observar la evolución de las mismas a lo largo del periodo contemplado. También se analizó la distribución anual de las precipitaciones para observar la variabilidad estacional en la misma. A su vez se graficaron los promedios móviles cada cinco y diez años en dichas estaciones, con el objetivo de suavizar variaciones anuales y poder observar más claramente la tendencia e identificar los periodos secos y los húmedos mediante la comparación con la media histórica.

Con respecto a las temperaturas, estas han sido analizadas no solo como variable fundamental para la caracterización climática, sino que también para el cálculo de la ETP. Se analizaron los datos históricos de las Temperaturas de las estaciones: Dolores Aero, Punta Indio (BAPI) y Ezeiza Aero en el periodo 1961-1990 con el objetivo de ver no solo su distribución promedio mensual, sino también de evaluar la representatividad de la estación más lejana por poseer el registro más extenso (Estación Ezeiza 1956-2019).

2.3.3. Estimación de la evapotranspiración potencial (ETP):

Para estimar la evapotranspiración potencial se han utilizado métodos indirectos, a través de fórmulas empíricas, donde no se requiere la radiación solar, humedad, ni velocidad del viento, porque se utilizan constantes empíricas. Dentro de estos métodos el elegido fue Thornthwaite y Mather (1957) ya que posee la ventaja de calcular la ETP, mensual o diaria, y utiliza pocos datos

para su realización. Dicho método requiere conocer las temperaturas medias mensuales y la latitud del área de estudio las cuales fueron aportadas por la estación meteorológica cercana al área de estudio.

El método posee el siguiente procedimiento:

Cálculo del índice de calor mensual (**i**): $i = (t/5)^{1,514}$, donde t: temperatura media mensual (°C).

Cálculo del índice de calor anual (**I**): $I = \sum i$

Cálculo de ETP media en mm:

$e = 16 (t/I)^a$ considerando meses teóricos de 30 días con 12 horas diarias de sol en mm/día.

$a = 6,75 \times 10^{-9} I^3 - 771 \times 10^{-7} I^2 + 1972 \times 10^{-5} I + 0,49239$

Luego, se ajusta el valor de ETP (evapotranspiración ajustada en mm/día) a partir de un factor de corrección (K), la que considera la duración real del mes (d) y el número máximo de horas de sol dependiendo de la latitud del área de estudio (N). Por lo tanto, se obtiene:

$K = (N/12) \times (d/30)$ $ETP = K \times e$

2.3.4. Balances hídricos

El balance de agua en el suelo se estableció según la metodología de Thornthwaite y Mather (1957). Para ello se realizó un balance hídrico histórico mensual promedio donde se utilizaron los datos de precipitaciones de la Estación La Esperanza correspondientes al periodo 1956-2019. Asimismo, para analizar la situación hidrológica al momento de cada muestreo (2017-2019) se efectuaron balances hídricos diarios a través de los registros de temperaturas diarias medias aportados por el SMN y precipitación diarios aportados por la Estación San Bernardo.

Mediante los balances se estimaron la evapotranspiración real (ETR), los excesos y déficits hídricos del sistema con el fin de caracterizar el régimen hidrológico donde se emplaza el área de estudio.

Los valores de evapotranspiración potencial (ETP) se obtuvieron a través de la fórmula empírica de Thornthwaite y Mather (1957). Para el cálculo de la reserva de agua útil máxima del suelo (RAU) se tuvieron en cuenta las características texturales de las geoformas determinadas en laboratorio y al igual que la profundidad radicular relevada en el campo (Custodio y Llamas, 1976). Para su estimación, a partir del tamizado de los sedimentos, se asignó un valor específico de capacidad de campo, punto de marchitez permanente (basado en Saxton y Rawls, 2006; Velasco, 1983), y densidad aparente promedio para la textura obtenida (basado en Ferreyra Espada, 2010). Por último, se estimó la profundidad promedio de las raíces observada durante la construcción de los freáticos.

2.3.5. Clasificación climática T-M

La Clasificación climática fue estimada según la clasificación climática de Thornthwaite (1948). Este autor introduce el concepto de pérdida de agua por evapotranspiración potencial como saldo de la precipitación. Dicha clasificación está compuesta por cuatro letras y subíndices, donde las dos primeras se refieren, al Índice hídrico (Ih) y Eficiencia Térmica, respectivamente.

El Ih se obtiene a través del balance hidrológico climático de Thornthwaite y se calcula mediante la siguiente expresión:

$Ih = 100 \times \text{Exc} - 60 \times \text{Def} / \text{ETP}$, donde, Ih corresponde al índice hídrico; Exc al excedente hídrico anual; Def al déficit hídrico anual y ETP a la evapotranspiración potencial anual.

A partir de los valores calculados, se ingresa en una tabla de clasificación del tipo de clima según el Ih , otorgándose a cada categoría una letra mayúscula. Se pueden diferenciar tipos de climas húmedos (los que arrojan valores positivos de Ih) y tipos de climas secos o áridos (con valores negativos de Ih).

La Eficiencia térmica o Regiones térmicas se obtienen a partir de la ETP, que al igual que con Ih , se le otorga una letra mayúscula y un número que acompaña. Se diferencian categorías que van de micro- meso- megatermal, tundra y helados dependiendo de los rangos de ETP en mm.

La tercera letra corresponde a la variación estacional de la eficiencia hídrica que tiene en cuenta la magnitud del Índice de aridez y el de humedad para los climas húmedos y secos, respectivamente. Se escribe con letra minúscula al igual que la cuarta letra. Esta última corresponde a la concentración estival de la eficiencia térmica, la que representa la relación entre la ETP durante los meses de verano y la ETP anual expresada en porcentaje.

2.4. REGISTRO DE MAREAS

Debido a que un sector de la zona de estudio (específicamente el Sector Norte: Punta Rasa) se encuentra ubicado en la confluencia del Río de la Plata y el Mar Argentino, se analizaron datos mareales horarios los cuales fueron proporcionados por el mareógrafo de San Clemente del Tuyú del Servicio de Hidrografía Naval. A partir de estos datos se construyeron gráficas de altura de marea en relación a la hora, en los meses que fue realizado el muestreo incluyendo los 15 días anteriores a la toma de muestra y/o medición de nivel freático. Asimismo, fueron analizados y comparados con las precipitaciones y las alturas de los niveles freáticos medidos en los pozos de monitoreo.

2.5. LITOLOGÍA

2.5.1. Tareas de Campo

En el transcurso de la realización de los pozos de exploración someros se procedió a la toma de muestras de sedimento con el avance en profundidad o cambio litológico. Las muestras fueron recolectadas en bolsas plásticas, rotuladas en campo y llevadas a laboratorio, donde las tareas comprendieron el análisis granulométrico y mineralógico de las mismas.

2.5.2. Tareas de Laboratorio

En primer lugar, para el análisis granulométrico, los sedimentos extraídos fueron cuarteados y secados a estufa a 80°C durante 24 horas. Luego, fueron desagregados con un mortero y leve presión con un pilón de goma y tamizados. Para esto último, el material fue volcado en un conjunto de tamices ordenados según la escala ASTM, donde los tamaños utilizados fueron: sábulos, arenas muy gruesas, arena gruesa, arena media, arena fina, arena muy fina y finos. Posteriormente, se colocaron en una Ro-Tap por 10 minutos. Finalmente, las distintas fracciones obtenidas fueron pesadas en balanza analítica con precisión de 0,01 g para determinar la distribución porcentual de cada fracción.

Por otro lado, para el análisis mineralógico, la primera instancia fue la observación de las muestras en lupa binocular (Leica SAPO stereo microscope) en el CETMIC (Centro Tecnológico de Recursos Minerales y Cerámica). A su vez, se realizaron cortes delgados, en muestras del

Sector Central. Para la preparación de los mismos, las muestras de grano suelto fueron impregnadas con resina epoxy y se las colocó en una cámara de vacío para favorecer la impregnación y penetración de la resina en los poros del sedimento. Al bloque de la muestra impregnada se le pulió hasta un espesor de 30 μm . Por último, se le colocó un cubreobjetos con la misma resina, para la observación mediante un microscopio petrográfico binocular Nikon Modelo Eclipse E200POL en el laboratorio de microscopía del Centro de Investigaciones Geológicas (CIG).

Los análisis a partir Difracción de Rayos X, por su parte, fueron realizados en el Laboratorio de Rayos X del Centro de Investigaciones Geológicas (CIG) así como en el Centro de Química Inorgánica (CEQUINOR) por medio de un difractómetro de rayos X (PANalytical, modelo X'Pert PRO con lámpara de Cu ($k\alpha=1.5403 \text{ \AA}$) que opera a 40 mA y 40 kV. El primer paso fue moler las muestras en mortero de porcelana hasta obtener un polvo impalpable. Esa muestra (denominada roca total) se analizó entre 20 y 70° 2 θ . La identificación de las fases se llevó a cabo utilizando el software X'Pert High Score Plus v3.0e de PANalytical. Finalmente, para corroborar la presencia de minerales magnéticos, estos fueron separados por medio del uso de imanes.

2.5.3. Tareas de Gabinete

Finalizadas las tareas en laboratorio, se procedió a la realización de perfiles descriptivos a partir de una columna donde se destacan porcentajes granulométricos en profundidad y mineralogía presente. Dichas columnas fueron construidas a partir de fotografías de los sedimentos secos a estufa. El análisis granulométrico se representó a través de diagramas de tortas, y la mineralogía fue destacada a través de fotografías de lupa binocular, microscopio petrográfico y diagrama de rayos X.

2.6. HIDROLOGÍA

2.6.1. Tareas de campo

Las tareas de campo comprendieron la medición de niveles freáticos, de parámetros fisicoquímicos *in situ* y la extracción de muestras de aguas subterráneas y superficiales.

Los relevamientos de los niveles freáticos se efectuaron tanto a través de la medición mediante sonda manual, así como también a partir de la colocación de sensores de registro continuo en los freatómetros previamente construidos. Por un lado, las mediciones efectuadas con sonda manual se realizaron en los meses de enero y junio del año 2019. Por otro lado, se instalaron 3 sensores de registro continuo de nivel (Solinst Levelogger, modelo 3001) y uno de registro continuo de presión atmosférica (Solinst Barologger, modelo 3001) en una transecta este - oeste en el Sector Central con el propósito de obtener un seguimiento detallado de la hidrodinámica del área. Los sensores ubicados en los freatómetros F3 y FC midieron desde 11/7/2018 hasta 28/6/2019, mientras que el sensor ubicado en FL5B tuvo problemas en la medición y midió desde el 11/7/2018 hasta el 22/7/2018 (razón por la cual los datos de dicho sensor no se tendrán en cuenta en el análisis). Cabe destacar, que los sensores de registros continuos no han podido ser instalados en el Sector Norte, debido a que, en su intento, estos han sido vandalizados y es por ello que fueron colocados en la Estancia San Bernardo - Los Ñandúces.

Asimismo, se realizaron mediciones de parámetros fisicoquímicos *in situ* de pH, temperatura y conductividad eléctrica del agua (indicadora de salinidad) con un equipo portátil multiparamétrico (Lutron® WA-2017SD) previamente calibrados con soluciones estándar (Figura 2.9.).

Los muestreos de agua superficial se efectuaron mediante la toma de muestras directamente del canal de marea, mar, laguna y cañadas mientras que las muestras de agua subterránea se obtuvieron directamente de molinos y perforaciones preexistentes, así como a partir de freáticos mediante el uso de bailers (Figura 2.10.). Previo a la toma de las muestras de agua se procedió al purgado y limpieza de los pozos. Las muestras fueron recolectadas en botellas plásticas, previamente enjuagadas 3 veces con agua de muestra y rotuladas en campo, para su posterior análisis químico en laboratorio. La recolección, preservación y análisis químicos de las muestras de agua se llevaron a cabo de acuerdo con los métodos estándar propuestos por la American Public Health Association (APHA, 1998). En todos los casos se extrajeron muestras para la determinación de elementos mayoritarios, minoritarios e isótopos estables de la molécula de agua.



Figura 2.9. Foto tomada en campo durante la medición *in situ* de parámetros fisicoquímicos como pH y conductividad eléctrica en el agua superficial.

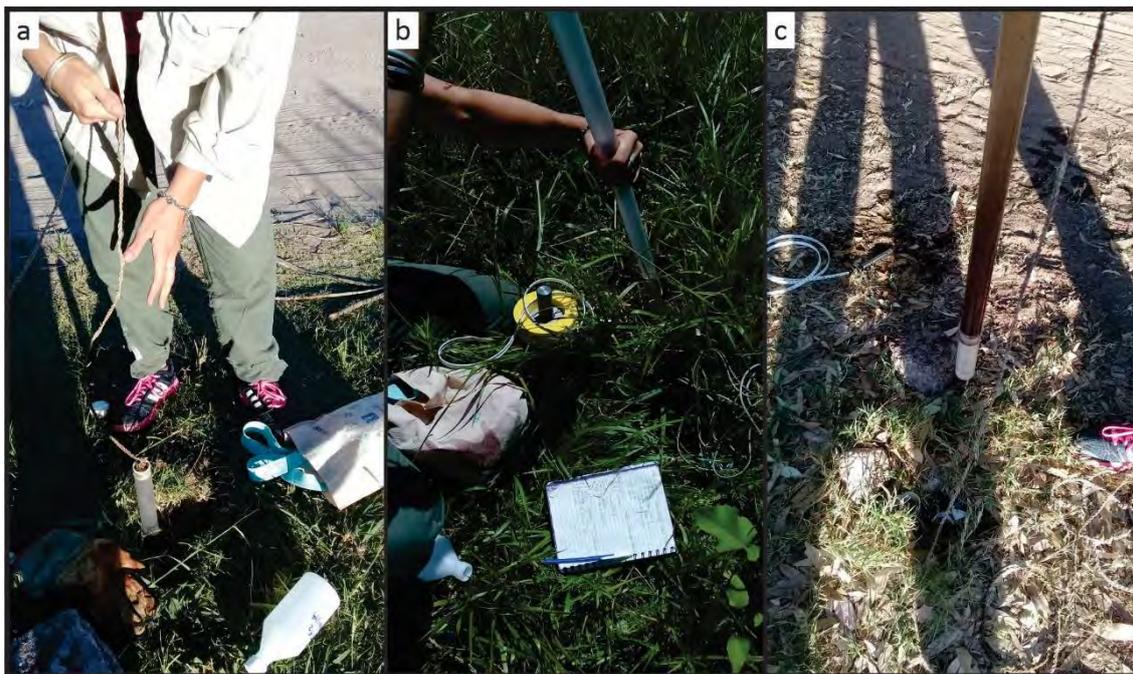


Figura 2.10. Foto tomada en campo durante la extracción de agua subterránea por medio de un bailer, el cual se observa en las 3 fotografías.

Los muestreos efectuados en las tres zonas de estudio corresponden a noviembre-17, marzo-18, agosto-18 y enero-19. Cabe aclarar que los iones minoritarios fueron determinados para dos muestreos, noviembre-17 y agosto-18, mientras que el análisis de isotopos se realizó en enero-19.

2.6.2. Tareas de laboratorio

Las muestras de agua obtenidas en campo fueron analizadas posteriormente en laboratorio, donde se determinaron las concentraciones de iones mayoritarios, minoritarios e isotopos estables de la molécula de agua.

En el Laboratorio de Geoquímica del Centro de Investigaciones Geológicas (CIG) se determinaron las concentraciones de iones mayoritarios a partir de métodos estandarizados (APHA, 1998). Carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-), cloruros (Cl^-), calcio (Ca^{+2}) y magnesio (Mg^{+2}) fueron determinados por titulación. Sodio (Na^+) y potasio (K^+) por absorción atómica con fotómetro de llama marca Crudo Caamaño modelo Ionometer Alfanumérico. Los iones sulfato (SO_4^{2-}) y nitrato (NO_3^-) se analizaron mediante espectrofotómetro UV-Visible de doble haz Shimadzu UV - 160A. En todos los casos las determinaciones fueron efectuadas por triplicado expresándose el valor medio en el resultado.

Los contenidos de elementos minoritarios fueron determinados en el Laboratorio de Geoquímica del CIG por medio del método de espectrometría de masa con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS – Perkin Elmer – Nexlon 300 X). Las curvas de calibrado se construyeron a partir de soluciones patrones multielementales de calibración (marca Perkin Elmer Inc.). Todas las soluciones standard y los blancos de reactivo se prepararon con agua deionizada (CE igual a $0,20 \mu\text{S}/\text{cm}$) y fueron acidificadas con ácido nítrico 1%. Las lecturas de los patrones se repitieron luego de la medición de 5 muestras.

Con respecto a la determinación de isótopos estables ($\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$), los mismos fueron medidos en el laboratorio de la Universidad Nacional de San Luis utilizando la técnica Cavity Ring-Down

Spectroscopy (CDRS), mediante el analizador Picarro L2120-i acoplado a un vaporizador Ao211 de alta precisión. Los resultados fueron expresados como $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ (‰), definidos como: $\delta = 1000 (R_m - R_r)/R_r$ ‰, donde δ es la desviación isotópica en ‰ en relación con el agua oceánica media estándar de Viena (V-SMOW) (Gonfiantini, 1978); R: relación isotópica ($^2\text{H}/^1\text{H}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$), m: muestra; r: referencia internacional. La precisión analítica es $\pm 0,05$ ‰ y $\pm 0,5$ ‰, para $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$, respectivamente. Los valores obtenidos se compararon utilizando la línea meteórica local definida por la ecuación $\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 14$ (Dapeña y Panarello 2004).

2.6.3. Tareas de gabinete

Una vez realizadas las tareas en campo y procesamiento en laboratorio, se procedió a la confección de mapas y gráficas por medio de distintos softwares y utilización de un editor gráfico con el objetivo de poder analizar los resultados obtenidos.

2.6.3.1. Generación de mapas y perfiles de flujo del agua subterránea

En base a las mediciones de nivel freático realizadas con sonda manual en los freáticos ubicados en cada área considerada, se construyeron para los tres sectores mapas de oscilación de la superficie freática y perfiles de flujo.

Por un lado, se confeccionaron dos mapas por Sector, correspondientes a las mediciones de enero y junio de 2019. Los mapas de oscilación de la superficie freática, fueron construidos con la finalidad de detectar las variaciones del nivel entre los periodos considerados y su relación con la geomorfología, donde valores positivos indicarían ascensos y valores negativos indicarían una disminución del nivel.

Con respecto a los perfiles de flujo subterráneo, fueron construidos a partir de transectas con dirección E-O (sectores Sur y Central) y NE-SO (sector Norte) para los periodos considerados. El perfil topográfico, se realizó considerando las cotas establecidas para cada freático, y los valores obtenidos del TanDem-X 90m utilizado en el área de estudio. Una vez trazada la topografía de las transectas a partir del editor gráfico, se procedió al trazado de la altura del nivel freático. Con respecto a las escalas verticales utilizadas en las transectas de los Sectores Sur y Central fueron las mismas (1:200), y en el Sector Norte en cambio la escala utilizada fue de 1:100. Con respecto a la escala horizontal ésta en los tres sectores se mantuvo en 1:25000.

2.6.3.2. Interpretación de datos químicos

Para evaluar las variaciones espaciales de la conductividad eléctrica del agua (CE) y su relación con la geomorfología y la hidrodinámica de cada sector se realizaron graficas de distribución de CE promedio correspondiente a los 4 muestreos realizados. No obstante, en el Sector Norte debido a la baja resolución del MDE TanDEM-X 90m producto de la mayor escala utilizada en este Sector, la distribución de CE promedio fue analizada con imágenes satelitales.

Por otro lado, para la evaluación de la variación temporal del pH y la CE se construyeron graficas de cajas y bigotes donde se vincularon las fechas de muestreo con las geoformas definidas previamente en cada sector y así poder relacionarlos no solo con la geomorfología, sino también con las precipitaciones y excedentes. En el Sector Norte se suma como variable las fluctuaciones mareales a dicho análisis.

Con respecto a los iones mayoritarios, los datos obtenidos fueron volcados en el software Diagrammes (Simler, 2009), el cual efectúa distintos gráficos, como el diagrama de Stiff y el de Schoeller-Berckaloff.

A su vez, para el análisis temporal de los iones mayoritarios y minoritarios (As, Fe, Mn), también se recurrió a la construcción de gráficos de cajas y bigotes, para poder estudiar la variabilidad de dichos iones entre las distintas fechas de muestreo con la geomorfología del sector analizado.

2.6.3.3. Análisis hidroquímico regional

Con el objetivo de identificar, caracterizar y unificar regionalmente los rasgos geomorfológicos definidos en cada Sector (Sur, Central y Norte) con los distintos tipos de facies de agua se realizó un gráfico Piper-Hill. Para ello, se utilizaron los contenidos iónicos porcentuales a través de una selección representativa de puntos de muestreos de agua extraídas en los 4 monitoreos realizados. La selección de los puntos de muestreos representativos se realizó en base a los análisis realizados previamente, donde los puntos con concentraciones anómalas fueron descartados y con el fin de cubrir una densidad suficiente del área, contemplando, a su vez, incluir muestras de las diferentes unidades geomorfológicas.

Para facilitar el análisis de la posible existencia de una relación entre la hidroquímica y la geomorfología, las muestras se diferenciaron según la unidad geomorfológica (Médanos sobreimpuestos al cordón costero actual, Médanos sobreimpuestos antiguas crestas de playas actualmente en zonas continentales, Mantos arenosos, Crestas de playa en zonas continentales, Crestas de playa en zonas intermareales y las aguas superficiales tomadas de las últimas dos unidades) y según el sector de monitoreo al cual pertenecieran.

2.6.3.4. Análisis de procesos hidrogeoquímicos

La interpretación de los procesos hidrogeoquímicos se llevó adelante mediante el análisis de relaciones isotópicas, iónicas y diagramas iónicos bivariantes. Asimismo, se utilizó el Software Diagrammes (Simler, 2009) para calcular los índices de saturación respecto a distintas fases minerales usando el Software Phreeqc (Parkhurst y Appelo, 1999), el cual está incorporado al programa en forma de interfase.

2.6.3.5. Análisis de aptitud del agua

Los resultados obtenidos de la medición de pH y CE, así como de los análisis de elementos mayoritarios y minoritarios fueron utilizados, por un lado, para la evaluación de calidad de agua utilizada para abastecimiento por las poblaciones rurales y el ganado vacuno, por medio de la valoración de los mismos en relación a los límites establecidos por el Código Alimentario Argentino (CAA, 2012) y el INTA (Luque, 2018), respectivamente. Por otro lado, en el Sector Norte, se valoraron los límites establecidos a partir de la Ley N°24.051, referido a la calidad de las aguas superficiales que sustentan los distintos ambientes que se desarrollan en las áreas naturales protegidas.

2.7. MODELO HIDROLÓGICO CONCEPTUAL

Se generaron modelos conceptuales 3D en forma de bloc diagramas sobre el funcionamiento geohidrológico del área de estudio a partir de la integración de las observaciones de campo y los resultados obtenidos. Dichos modelos incluyen las características geomorfológicas, sedimentológicas, hidrodinámicas e hidrogeoquímicas de las unidades geomorfológicas estudiadas con el fin de unificar y simplificar los temas tratados en esta tesis.

CAPÍTULO 3: MARCO REGIONAL

En este apartado se introducirá, a partir de la recopilación de antecedentes, el marco regional donde se encuentra el área de estudio. Esto incluirá la evolución geológica y geomorfológica, así como la configuración hidrogeológica del área desde su formación hasta la actualidad.

3.1. CUENCA DEL SALADO

La zona de estudio se ubica en el borde austral de la Provincia geológica de la Cuenca del Salado (Figura 3.1.1), la cual se haya limitada por los Altos Precámbricos Martín García y Tandilia (Rolleri, 1975). Es una enorme cubeta de depositación, con potencia de 6.000 metros (Braccini, 1972), elongada con dirección NO a SE, que se extiende desde el extremo norte de la Provincia de Buenos Aires en dirección sureste hasta penetrar en la Plataforma Continental Argentina al sureste de la Bahía Samborombón (Figura 3.1.). Esta cuenca marginal, es un importante depocentro Cretácico – Terciario, vinculada con procesos de fracturación extensional, sobre viejas zonas de sutura, que fueron rejuvenecidas en el Mesozoico tardío. Los fallamientos intensivos durante el Jurásico y Cretácico dieron origen a una fosa o graben intracratónico con la consecuente apertura del océano Atlántico (Introcaso y Ramos, 1984; Ramos, 1999), generando a su vez la formación de un rift abortado o aulocógeno (Rolleri, 1975), y su posterior sedimentación continental - marina durante el Terciario hasta llegar a su configuración actual (Figura 3.1.).

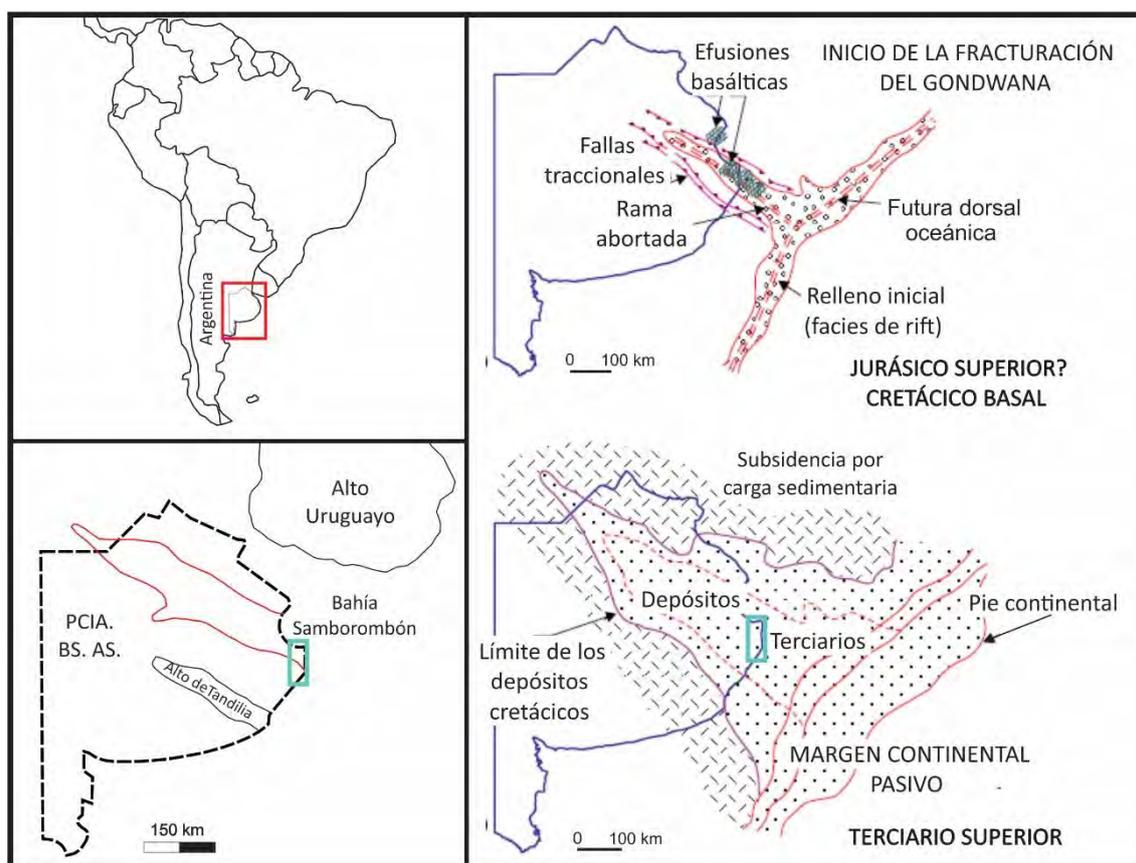


Figura 3.1. Cuenca Aulacógena del Salado. En celeste ubicación del área de estudio. Imagen tomada y modificada de Ramos 1999.

Se pueden señalar cuatro etapas en la evolución tectónica de la cuenca, identificadas como pre-rift, rift, sag (relleno o de cuenca interior) y de margen pasivo (Yrigoyen, 1999). Se analizará cada etapa en relación a su estratigrafía.

Cabe destacar, que en el área actuaron procesos de basculamiento, debido al equilibrio isostático y sobrecarga sedimentaria, como lo evidencian los potentes espesores en el post-Mioceno, el incremento de esta dinámica es consecuencia del ascenso de la cordillera andina. (Turic et al., 1996).

Con respecto a la estratigrafía de la Cuenca del Salado (Figura 3.2.), durante la etapa de pre-rift, el basamento se reconoce en los bordes y está compuesto por metasedimentitas de bajo grado (cuarcitas y argilitas) del Neoproterozoico al Paleozoico, en contacto tectónico con brechas, esquistos y gneis con intrusiones graníticas del Precámbrico.

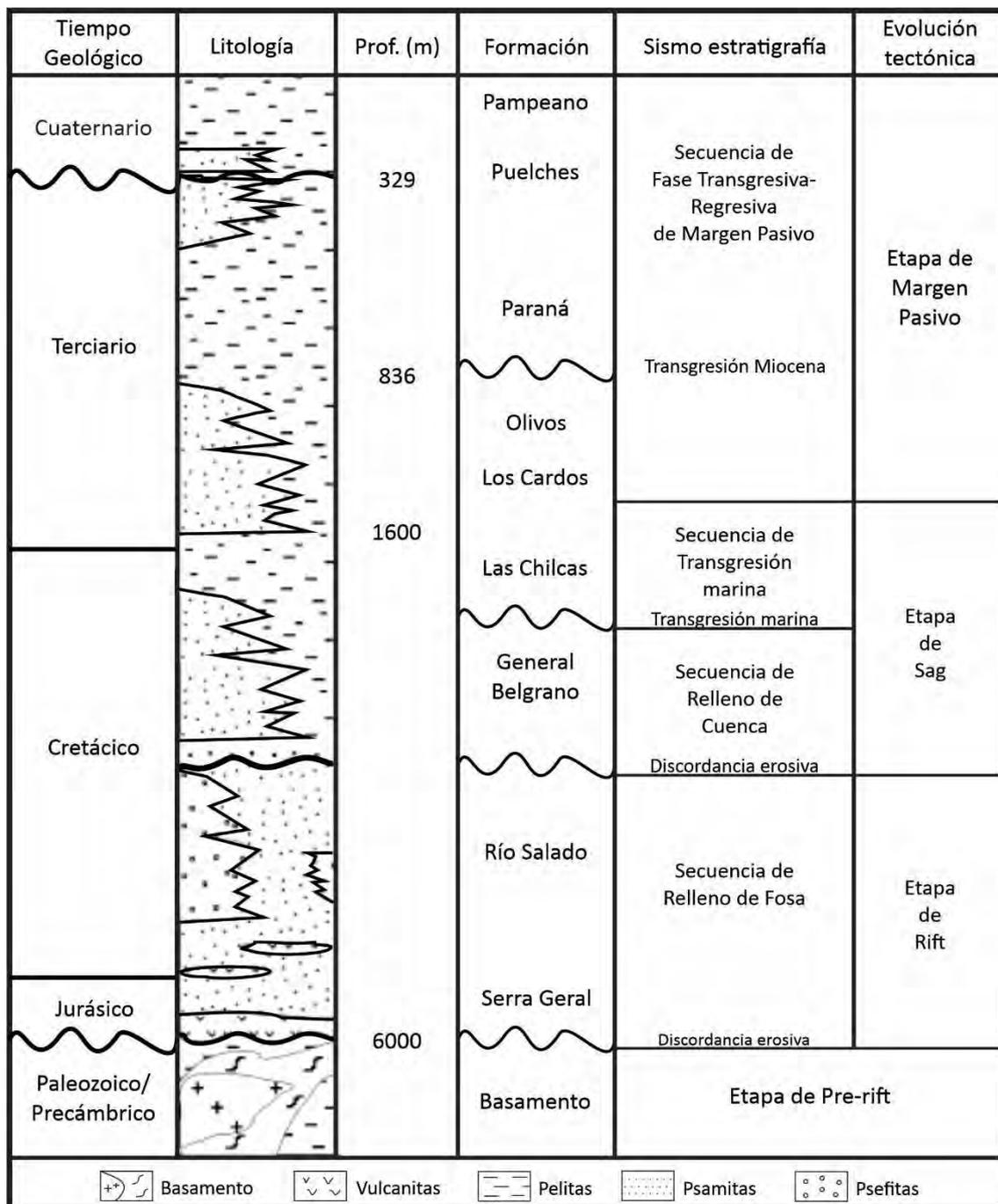


Figura 3.2. Esquema Estratigráfico de la Cuenca del Salado. Tomado y modificado de Yrigoyen y Ramos 1999.

Por encima y en discordancia angular, se encuentran los depósitos de la etapa de rift (etapa relacionada con los primeros procesos tensionales de la deriva continental y la formación de fracturas profundas), la cual comienza con un episodio volcánico sincrónico con la deformación, representado por las vulcanitas del Jurásico Superior - Cretácico Inferior de la *Formación Serra Geral* (Yrigoyen, 1975). Continúa la secuencia durante el Cretácico temprano, con la depositación de sedimentos continentales de la *Formación Rio Salado*, la cual constituye una secuencia de rocas sedimentarias compuesta por conglomerados, areniscas y lutitas de coloraciones rojizas intercaladas con rocas volcánicas, con un máximo espesor de 3.500 m (Zambrano y Urien, 1970), los espesores son variables debido al escalonamiento del fondo y la discordancia de su techo. Inmediatamente por encima, ocurrieron los eventos intercretácicos provocando un intervalo erosivo, sobre el cual se desarrolla el estadio de subsidencia (etapa de sag o de cuenca interior), dando lugar al relleno de la Cuenca. Se inicia con la depositación de la *Formación General Belgrano* con rocas sedimentarias del tipo "bed reds", con un espesor máximo de 886 m (Zambrano y Urien, 1970). Los estudios sísmicos indican que estos depósitos continentales se asientan sobre los sedimentos de la etapa de fosa, en discordancia angular.

La secuencia estratigráfica continúa con la depositación de sedimentos pertenecientes a la *Formación Las Chilcas* (Zambrano, 1971), caracterizados por representar la primera ingresión marina de la cuenca. Son sedimentos deltaicos y transicionales pertenecientes al Cretácico Superior y poseen un espesor máximo de 1.190 m. Están representados por limonitas grises verdosas y arcilitas varicolores, con intercalaciones de areniscas, yeso y anhidrita subordinada. La edad de los depósitos continentales es Cretácica tardía y los correspondientes al ambiente marino, por su contenido fosilífero y datos sísmicos al Maastrichtiano – Daniano. Esta primera secuencia de origen marino transgresivo (trasgresión Laramica), se corresponde a los primeros estadios de apertura del Atlántico Sur (Raggio et al, 2011).

Sobre las unidades marinas, y asociados a una etapa de margen pasivo, la cuenca marginal se colmata con sedimentos Paleógenos (Paleoceno-Mioceno inferior) de carácter transgresivo-regresivo, conocido como *Mioceno Rojo*, representada por la *Formación Los Cardos* (capas rojas continentales) y *Formación Olivos* (de ambiente continental palustre). Hacia el este estas formaciones pasan a deltaicas y marinas, y poseen un espesor de 800 metros.

Durante el Mioceno inferior - superior, tuvo lugar otro aumento del nivel del mar, representado por la *Formación Paraná* (o Mioceno Verde) la que se compone de arcillas, arenas arcillosas y arenas verdes con niveles calcáreos y fósiles marinos. Con espesor máximo de 815 m. La pseudo-concordancia de los depósitos continental palustre miocenos de la *Formación Olivos*, con los infrayacentes, evidencian una dislocación que no afecto a la *Formación Paraná*, ya que esta última cubre a los sedimentos continentales pertenecientes a la Fm Olivos.

El proceso sedimentario Cenozoico culmina durante el Plioceno con arenas cuarzosas, de origen fluvial de la *Formación Puelches*, sobre las que se depositan los sedimentos continentales pertenecientes al Loess Pampeano.

Finalmente, en el área de estudio, son de importancia los sedimentos Postpampeanos (Fidalgo, 1975), los cuales están representados por sedimentos continentales, con intercalaciones marinas en las zonas costeras, que se depositaron entre el Pleistoceno tardío a Holoceno. Los sedimentos marinos depositados durante el Cuaternario constituyen los depósitos de interés en el área de estudio.

3.2. EVOLUCIÓN CUATERNARIA GEOLÓGICA Y GEOMORFOLÓGICA DE LA LLANURA COSTERA BONAERENSE

De acuerdo con las características geológicas descritas anteriormente, las formaciones cuaternarias producto de los sucesivos eventos glacioeustáticos se pueden reconocer en toda la franja costera bonaerense y son las más relevantes desde el punto de vista geohidrológico, para el presente trabajo, ya que su litología y facies asociadas determinan las unidades hidrogeológicas en el área de estudio.

Los eventos ocurridos durante el Pleistoceno Superior - Holoceno en la llanura costera atlántica bonaerense (donde se encuentra el área de estudio) fueron estudiados en detalle por Parker (1979), Consejo Federal de Inversiones (CFI) 1990, Violante (1992), Violante y Parker (2000) y Violante (2001). Se han tomado estos estudios como base para la descripción de la evolución geomorfológica y estratigráfica de la zona de estudio.

Violante y Parker (2000) han realizado una síntesis del Holoceno para las tres áreas geográficas que comprenden al sector de la Cuenca del Salado afectada por la última transgresión marina, el Río de la Plata con sus llanuras costeras asociadas (A); las llanuras costeras atlánticas bonaerenses (B) y la plataforma continental interior (C) (Figura 3.3a).

Dichos autores definen una secuencia depositacional holocénica depositada sobre sedimentos pre-holocénicos. La secuencia depositacional holocena está formada por dos Cortejos Sedimentarios, uno Transgresivo (durante el Holoceno temprano) y otro de Nivel Alto (durante el Holoceno tardío) (Figura 3.3b y c).

En el área de estudio, el Cortejo Transgresivo (figura 3.3b), está formado por un sistema depositacional de barreras litorales, que se extiende en subsuelo de las llanuras costeras atlánticas e incluye los ambientes de barrera, playas, albuferas y llanuras de mareas (representada por la Aloformación Pozo N°8) (Figura 3.3d y Tabla 3.1.). Por su parte, el Cortejo Sedimentario de Nivel Alto (Figura 3.3c), es un sistema formado durante las etapas finales de la transgresión y los correspondientes al evento regresivo progradante posterior y está representado por el sistema depositacional **de espigas y playas interiores** (Figura 3.3.c). Sus unidades aflorantes corresponden a la Aloformación Pozo N°17 (Figura 3.3.d, B y Tabla 3.1.).

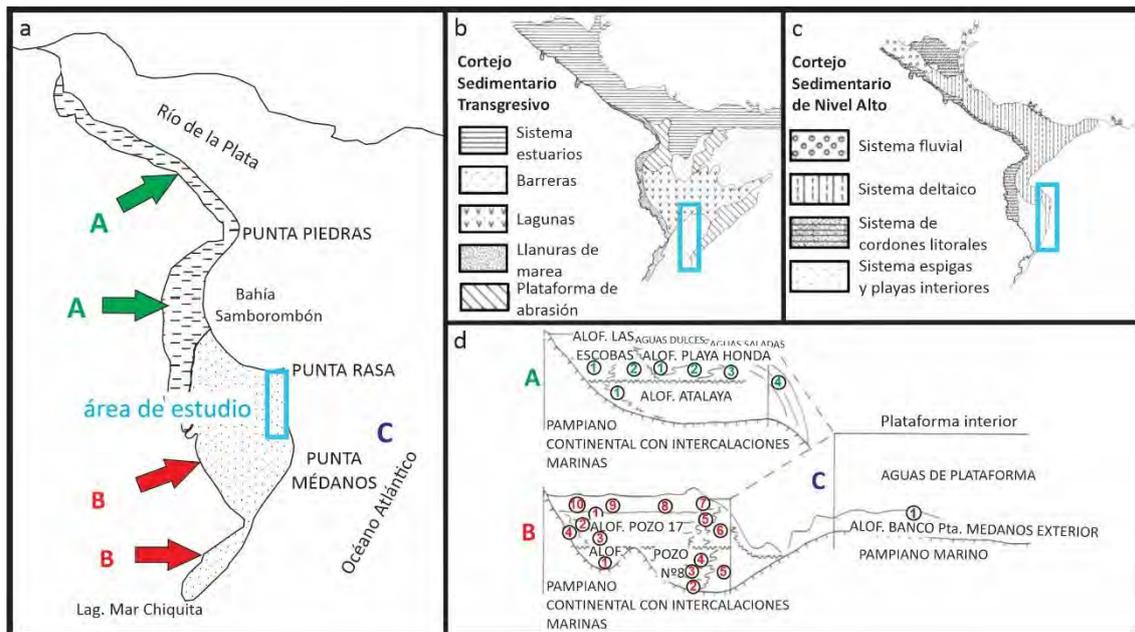


Figura 3.3. Sectores de la Cuenca del Salado afectados por la última transgresión marina. a-Figura regional donde se muestran las tres áreas geográficas definidas por Violante y Parker (2001) (A, B y C): **A** corresponde al sector del Río de la Plata y llanuras costeras asociada; **B** a las Llanuras costeras atlánticas bonaerenses y **C** a la Plataforma Norbonaerense (plataforma Continental Interior). En celeste se indica la zona de estudio. b-Cortejo sedimentario Transgresivo; c-Cortejo sedimentario de Nivel Alto; d- Perfil esquemáticos del área de estudio. Los números en color verde se corresponden a las facies del sector A, en rojo las facies del sector B y en azul las del sector C (Tomada y modificada de Violante et al., 2001).

Se presenta a modo de síntesis un cuadro de las tres áreas geográficas que comprenden al sector de la Cuenca del Salado, en base a los sistemas depositacionales formados durante la última transgresión marina (Tabla 3.1.).

Área geográfica	Ambientes sedimentarios	Sistema depositacional	Cortejo	Aloformación	Facies
Río de la Plata y llanuras costeras asociadas A	Costas protegidas de carácter estuárico con fase final de progradación deltaica, asociada a llanuras costeras con desarrollo de sistemas de cordones litorales	Deltaico	Nivel Alto	Playa Honda	1 Canal 18; 2 Co. de la Gloria
		Cordones litorales en costas protegidas	Nivel Alto	Las Escobas	1 Río Santiago; 2 Arenas; 3 Limos; 4 Arcillas
		Estuárico	Transgresivo	Atalaya	1 Espinillo
Llanura costera atlántica bonaerense B	Llanuras costeras con sistemas de barreras litorales- lagunas costeras, en costas marinas abiertas	Espigas y playas interiores en costas abiertas	Nivel Alto	Pozo N°17	1 Mb. Las Chilcas; 2 M. La Salada Grande; 3 Mb. Arcillas Verdes; 4 Mb. La Diana; 5 Pto. El Tigre; 6 Mar de Ajó; 7 Pta. Médanos; 8 Cherner Gral. Lavalle; 9 Mantos arenosos Ea. La Fé; 10 Lúnulas de Resguardo
		Barreras litorales	Transgresivo	Pozo N°8	1 Cañadón Grande; 2 Arenas arcillosas pardas; 3 Dto. Río Salado; 4 La Victoria; 5 Pinamar
Plataforma norbonaerense C	Líneas de costas sucesivas afectadas por un evento marino transgresivo y modificado por el regresivo hasta adquirir su configuración actual.	Plataforma (nivel alto)	Nivel Alto	Banco Punta Médanos Exterior	1 Palimpsesto
		Litoral de costas abiertas (relicto)	Transgresivo		

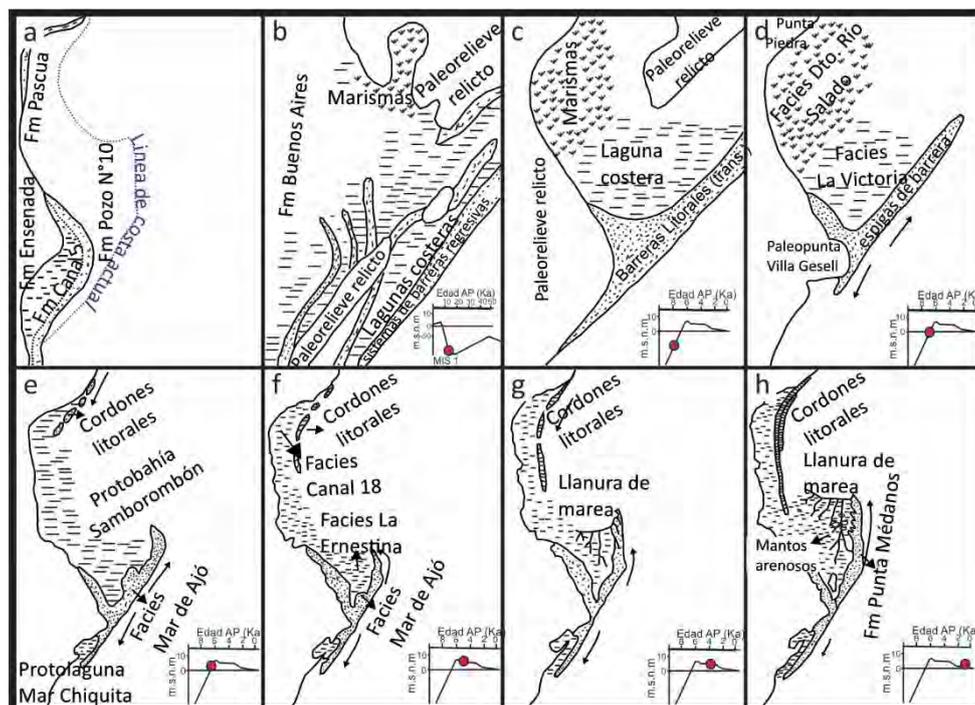
Tabla 3.1. Caracterización de las Llanuras costeras bonaerenses en base a características definidas por Violante y Parker, 2000. A, B y C representan las áreas geográficas de la Cuenca del Salado afectados por la última transgresión marina, en B se ubica el área de estudio.

A partir de lo expuesto anteriormente, Violante et al., 2001, esquematizaron la evolución cuaternaria de las llanuras costeras bonaerenses en etapas que reflejan los distintos eventos ocurridos a través del tiempo, y donde las edades fueron asignadas en base a evidencias geológicas y a la curva de variaciones del nivel del mar (Figura 3.4.). Posteriormente, diversos autores (Isla et al., 2001; Fucks et al., 2010; Fucks et al., 2015; Prieto, 2017; entre otros) a partir de evidencias geomorfológicas, estratigráficas y paleontológicas realizaron una reconstrucción más detallada de la evolución paleoclimática ocurrida en el Cuaternario de la región. En la Figura 3.5. se presenta el mapa de la geomorfología actual y geología de las zonas antes mencionadas.

Previo a la última glaciación, hace *125.000 años AP* (Figura 3.4a), el nivel del mar alcanzó la mayor ingresión sobre el sector continental con alturas de 6 m por encima del nivel del mar actual (Fucks et al., 2010), comenzando el modelado del terreno sobre el que actuó la última transgresión marina. La formación de sistemas de barreras y sus ambientes lagunares asociados dieron lugar a la depositación de la *Formación Canal 5* y a la *Formación Pascua*, correspondiente a playas de baja energía depositadas en las zonas menos expuestas. Al mismo tiempo, hacia la plataforma interior iban depositándose sedimentos marinos de la *Formación Pozo N°10* (Figura 3.4a y Figura 3.5.).

Durante la última glaciación, el descenso del nivel del mar (n.d.m.) originó la migración de barreras litorales, dejando relictos en la actual plataforma interior las cuales fueron reguladas por paleorelieves formados por sedimentos marinos. En esta etapa de retroceso existen registros de lagunas costeras y marismas en la zona del Alto Marítimo y en áreas desvinculadas de la acción marina, que, hacia el continente, se cubrieron de sedimentos eólicos de la *Formación Buenos Aires* (Pleistoceno superior o tardío) (Figura 3.4b).

Seguido al máximo glacial, entre los 20.000 y 18.000 años AP, el mar comienza a ascender a una velocidad aproximada de 1cm/año (Fucks et al., 2010), dando lugar a un **proceso transgresivo** (correspondiente al Cortejo Transgresivo) (Figura 3.4.b). Se origina una superficie de transgresión o *ravinement* y barreras litorales (Facies Pinamar) que migran en dirección al continente a medida que continua la transgresión, dejando un manto de arena con rumbo NE extendiéndose a través del Río de la Plata. Por detrás (en la Bahía Samborombón y el Cabo San Antonio) se desarrollaron playas, lagunas costeras y marismas (*Fm. Pozo N8: Facies La Victoria y Facies Destacamento Rio Salado*) (Figura 3.4c).



El ascenso del nivel del mar continúa durante la fase transgresiva, alcanzando a los 7000 años una posición semejante a la actual (Violante et al., 2001; Prieto et al., 2017). El desarrollo de las paleopuntas Villa Gesell y Punta Piedras, da lugar a las divergencias en las direcciones de deriva litoral, llevando al desarrollo de espigas de barreras en dirección NE-SO (Figura 3.4d).

Entre los 5000 a 7000 años AP el reemplazo de comunidades de marismas medias a bajas son indicativos del avance del mar a través de los sectores más bajos, respondiendo al aumento del n.d.m. que alcanza el máximo transgresivo a los 6.300-5.600 años AP (Prieto et al., 2017). Asimismo, la línea de costa se encontraba a 10km de la posición actual a los 6670 años AP (Luengo, 2019).

Posteriormente entre los 6300 años AP evidencias fosilíferas y litológicas permiten inferir estabilidad ambiental, donde el n.d.m se encontraba a +4m (Prieto et al., 2017). La línea de costa aquí se encontraba en posiciones intermedias entre la actual y el máximo transgresivo (Fucks et al., 2010).

Luego del máximo transgresivo ocurre el descenso del n.d.m. y elevada progradación costera asociada. Las primeras evidencias del **retroceso del n.d.m.** surgen entre los 5.800-5.200 años AP hasta alcanzar su posición actual (Prieto et al, 2017). Durante los 5.000-3.000 años AP se registran transiciones graduales de comunidades de marismas bajas a marismas altas (Villanoba y Prieto, 2012) producto del retroceso del n.d.m.

Los procesos erosivos de elevada energía al sur, generaron erosión de la Paleopunta Villa Gesell hasta desaparecer. Por otro lado, la barrera desarrollada hacia el norte, fue recortada en la zona septentrional (por diferencias del aporte sedimentario) y se ubicó en una posición más cercana al continente formando sucesivas crestas de playas (*Facies Mar de Ajó*) hacia el norte (Figura 3.4

e y f). Por detrás de la barrera siguió funcionando una zona de circulación restringida que recibió sedimentos finos y dio lugar a la Protobahía Samborombón.

Durante los últimos 3.000 años AP (Figura 3.4g) continua el descenso del n.d.m. (Prieto et al., 2017) y la costa comienza a progradar rápidamente, dado que el continente le gana terreno al mar por deposición de materiales en la región costera. Las crestas de playas norte avanzaron en esa dirección y entre los cordones y las crestas de playa, se desarrolla la *Facies La Ernestina*. La barrera sur siguió creciendo hacia el sur y en su parte posterior se desarrollan playas protegidas y cordones (*Facies La Diana*). El descenso de energía en la región de las crestas de playa y los cordones litorales genera una disminución en la granulometría de los sedimentos ahí depositados creando el ambiente de llanura de mareas.

Las crestas de playas de las Facies Mar de Ajó continuaron adosándose al norte de la barrera y simultáneamente los sedimentos removidos de la playa por acción eólica dieron lugar a la cadena de médanos (M-II) de la *Fm Punta Médanos*. Por detrás de la cadena de médanos costeros se depositaron sedimentos eólicos provenientes de estos, dando lugar a los mantos arenosos de la *Fm. Mantos Arenosos Estancia La Fé*. Los cordones asociados a Punta Piedras se integraron a los ambientes del sur formándose una línea de costa similar a la actual con una paleobahía Samborombón muy acotada. La barrera del sur también progradó rápidamente por la acreción de crestas de playa (*Facies Puesto del Tigre*). La zona de llanura de mareas se desvincula de los procesos marinos y la acción eólica produce acumulaciones dando lugar a las *Lúnulas Resguardo Pesquero*. Mientras que, periodos tormentosos excepcionales (supramareal) formaron los *Cherniers de General Lavalle*. En condiciones actuales de la línea de costa y con la dirección de los vientos dominantes de orientación sur-sureste, continúa la depositación de sedimentos eólicos provenientes del cordón costero actual, dando lugar a la cadena medanosa actual (M-III), perteneciente a la *Fm. Punta Médanos*.

Hace 200 años AP, la región alcanza su configuración actual (Figura 3.5) (Violante et al., 2001; Prieto et al., 2017).

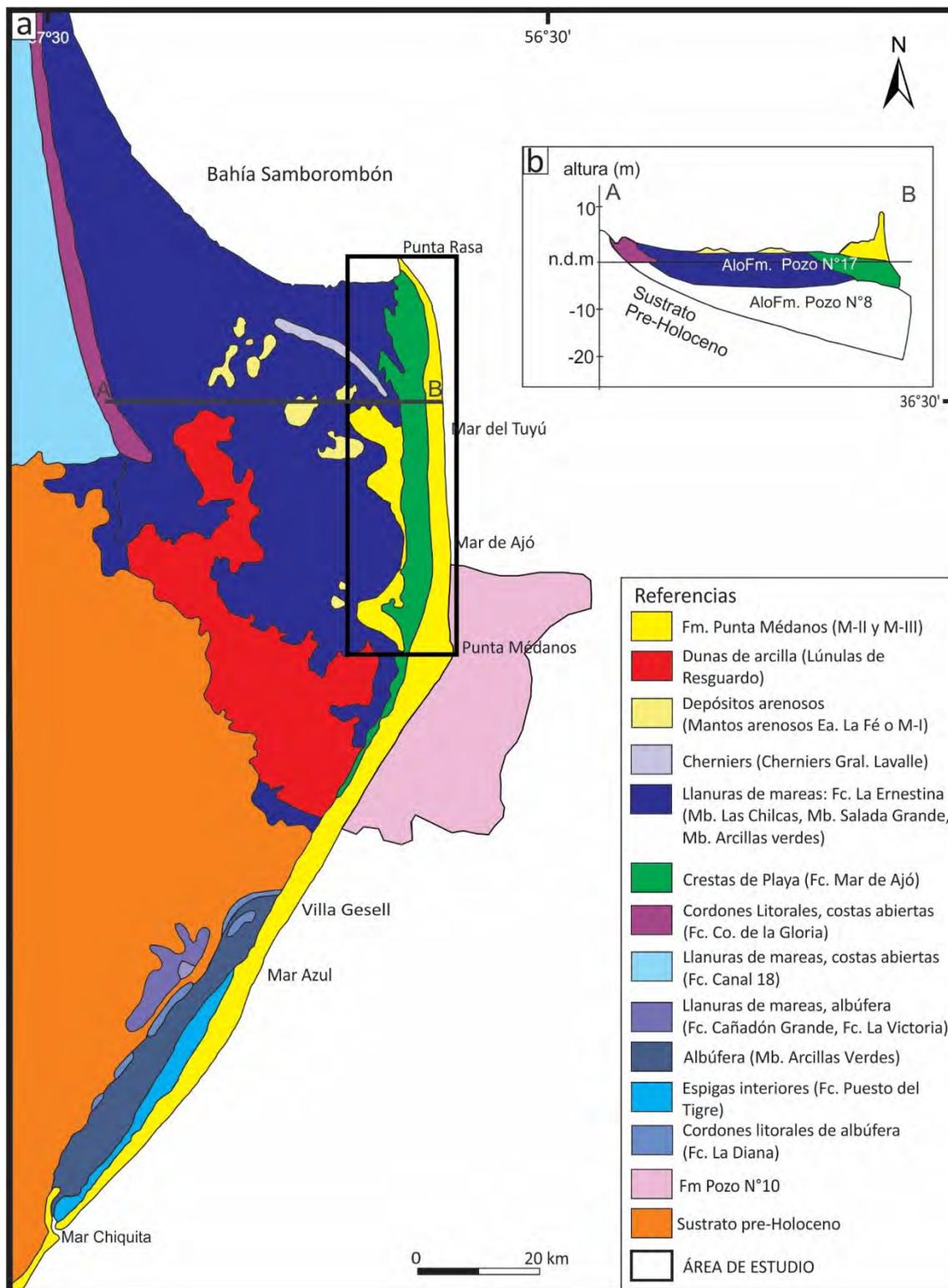


Figura 3.5. a-Configuración geológica actual de las Llanuras costeras atlánticas bonaerenses. Tomada y modificada de Violante 2001. El rectángulo negro enmarca el área de estudio de la presente tesis. A y B representan un perfil estratigráfico que abarca el área de estudio y adyacencias. b- Esquema estratigráfico correspondiente al área de estudio (tomado y modificado de Violante et al., 2001).

3.3. ESTRATIGRAFÍA GENERAL DE LA LLANURA COSTERA ATLÁNTICA BONAERENSE

A continuación, se presenta una síntesis estratigráfica de la Llanura costera litoral atlántica extendiéndose de sur a norte desde Punta Médanos hacia Punta Rasa, respectivamente. Dicho cuadro estratigráfico (Tabla 3.2.) está basado en estudios realizados por Parker en 1979 y CFI 1990 y siguiendo el mapa geomorfológico y geológico realizado por Violante, 2001. En la Figura 3.5.b se esquematiza la estratigrafía del área de estudio.

Edad	Formación	Localidad Tipo	Litología	Distribución	Relación estratigráfica	Espesor (máximo)	Ambiente de depositación	
HOLOCENO	Otros depósitos definidos en base a rasgos morfológicos	No presentan	Ea. La Fé: mantos arenosos de arenas finas algo arcillosas, pardas oscuras, yeso y materia orgánica.	Sector central	Engranado lateralmente con suelos y se apoyan sobre el Mb. Las Chilcas (Fc. La Ernestina)	0,6 m	Sedimentos terminales típicos de la etapa final (subactual) de la evolución del sistema de barreras, que colmataron las áreas bajas que quedaron por detrás de la barrera. Los Mantos Arenosos Ea. La Fé son producto del acarreo de sedimentos en suspensión y saltación a poca distancia del suelo, capturados en cuencas de recepción arcillosas y húmedas que no permitieron su retransporte. Su área de dispersión se la infiere a partir de los sedimentos loessoides accidentales y médanos costeros, según las condiciones meteorológicas.	
			Cherniers: bancos compuestos por abundantes conchillas en matriz areno arcillosa de color castaño grisáceo.	Sector nororiental				
			Lúnulas de Resguardo Pesquero: dunas de materiales pelíticos.	Sector suroccidental del área de estudio				
	Punta Médanos	Área de Punta Médanos	Médanos costeros: arenas pardo claras de grano fino a muy fino con abundantes fragmentos de conchillas trituradas y redondeadas.	Se extiende a lo largo de toda la costa, sin interrupción en una franja de 3-4 km de ancho, adyacente a la costa.	Al N de Punta Médanos se superpone con las Fc. Mar de Ajó. Continuando al S de ese punto se superpone con Fc. Pinamar	30 m	Acción de los vientos provenientes del mar que levantan parte del material acumulado en la playa para depositarlo sobre la costa.	
				Fm. Pozo N° 17 perforado cerca de Mar de Ajó, en Puesto Viuda de Venner	Fc. La Ernestina: Mb. Arcillas Verdes: arcillas muy plásticas de color verdes azuladas, con elevado contenido en arenas muy finas. Mb. Salada Grande: limos arenosos pardo verdosos que hacia el oeste de la cuenca se hacen rojizos. Mb. Las Chilcas: sedimentos arcillosos gris verdosos con acumulación de materia orgánica y óxidos de hierro.	El Mb. Arcillas Verdes está limitado en un área cerrada ubicada al oeste de la Lucía del Mar y Punta Médanos. Los otros miembros se extienden sobre todo el sector norte (Sistema Complejo Lagunar Salada Grande-Bahía Samborombón).	En general 2m, pero donde aparece el Mb. Arcillas Verdes puede llegar hasta 7m	Ambientes asociados a sistemas de barreras litorales evolucionando durante la última etapa regresiva. Depositación mixta, de baja energía. Ambiente marino de poca energía (bahías cerradas o lagunas costeras, albuferas). Mb. Arcillas Verdes: ambiente albuférico; Mb. Salada Grande: playas interiores; Mb. Las Chilcas: ambientes mareales.
					Fc. Puesto del Tigre: arenas finas a castañas grisáceas oscuras con conchillas.	Limitada a la franja costera al sur de Punta Médanos, asociados a la Laguna Mar Chiquita.	2 m	Espigas interiores asociados a la evolución de la Laguna Mar Chiquita.
	Pozo N° 8	Ea. San José de las Chilcas	Fm. Arenas arcillosas Pardas: Mb. Arcillas Rojas: arcillas rojas a pardas con tosca y con intercalaciones de arcillas con conchillas. Fc. Destacamento Río Salado: arenas a limos con intercalaciones de arcillas oscuras a veces casi negras. Fc. La Victoria: arcillas plásticas verdes grisáceas a castañas verdosas, con restos de materia orgánica y arenas muy finas a limo arcillosas con conchillas trituradas. Fc. Pinamar: arenas medias gruesas, pardo amarillentas con abundantes bivalvos y gravas, con intercalaciones de arenas cementadas con CaCO ₃ .	Al norte de Punta Médanos, cerrando el Complejo Lagunar Salada Grande-Bahía Samborombón.	Se ubica por encima de la Fm. Pozo N° 8 y por debajo de la Fm. Punta Médanos, a través de un suelo enterrado.	2 m	Sistemas de barrera litoral durante la etapa regresiva. Desarrollada mediante la acreción de distintas espigas de playa que crecieron desde Punta Médanos hacia el norte, cerrando el ambiente albuférico-mareal del Complejo Lagunar Salada Grande-Bahía Samborombón.	
				Hacia el N, corresponde al sistema Complejo Lagunas Salada Grande-Bahía Samborombón la que se extiende en toda la franja costera desde la B. Samborombón hacia el sur en el ámbito centro-oriental adyacente al Cabo San Antonio y plataforma interior. Fc. Dto. Río Salado en sector O y N extendiéndose hacia el N de la B. Samborombón.	Se apoya sobre la Fm. Pozo N° 10 y es sobrepuesta por la Fm. Pozo N° 17.	8 m	Depósitos de playas formados en los bordes de cuenca vinculados a las partes que sufrieron influencia del mar. Corresponde a amplias llanuras de mareas o marismas que se extienden adyacente a la albufera en el área de influencia de la B. Samborombón. Vinculado al proceso de formación de barreras. Marino costero de baja energía. Depósitos de albufera. Barrera litoral de rumbo NE. Representa los pasos sucesivos hasta el establecimiento de la espiga, que a partir de una playa de costa evoluciona por captación sucesiva de sedimentos en playas de barrera.	
				Como cuña hacia la costa entre Valeria del Mar y Villa Gesell.	Se apoya sobre la Fm. Ensenada, Pascua y Canal 5.	9 m	Depósitos continentales, producto de la acción eólica, como un manto uniforme que cubrió una superficie ondulada de sedimentos continentales y marinos.	
	PLEISTOCENO	Buenos Aires	Cuidad de Buenos Aires	Limos y loess castaños claros a rojizos	Como cuña hacia la costa entre Valeria del Mar y Villa Gesell.	Se apoya sobre la Fm. Ensenada, Pascua y Canal 5.	9 m	Depósitos continentales, producto de la acción eólica, como un manto uniforme que cubrió una superficie ondulada de sedimentos continentales y marinos.
En Pozo N° 10 al O de Laguna Salada				Fc. Occidental: arena de loess calcárea amarillenta.	Se desarrolla en subsuelo desde Pinamar hacia el N. También aflora frente a la costa en el ambiente de plataforma y se hunde gradualmente hacia el NE.	Apoya en discordancia sobre Pozo N° 4 y debajo de Pozo N° 8.	14 m	Asociado a fajas medanosas litorales.
				Fc. Central: arenas finas-medias, parda amarillentas con concreciones de CaCO ₃ y conchillas. Fc. Oriental: Mb. Arcillas Pardas: arcillas pardas con intercalaciones arenosas y conchillas. Mb. Arcillas Pardo Rajiza: arcillas limosas compactas, rojas con tosca.				Mb. Arcillas Pardas: marino sublitoral de plataforma interior. Mb. Arcillas Pardo Rajizas: ambiente continental.
Pozo N° 4	Puesto Casales	Margas y arcillas pardo verdosas intercaladas en arcillas arenosas, cementadas y duras. Intercalaciones de arcillas y glauconitas.	Se extiende hacia el N de Pinamar, hundiéndose en dirección SE.	Por debajo y en discordancia con Pozo N° 10	No fue atravesada en su totalidad.	Plataforma interior.		

Tabla 3.2. Estratigrafía del área de estudio. Basado en Parker, 1979 y el CFI, 1990.

3.4. ANTECEDENTES CLIMÁTICOS Y RÉGIMEN MAREAL DE LA LLANURA COSTERA ATLÁNTICA BONAERENSE

La existencia de información antecedente de la región fue descripta por CFI en 1990 y Carretero 2011. Se destaca que el clima de la región según la clasificación climática de Thorntwaite es de tipo húmedo, mesotermal (templado), con nula a pequeña deficiencia de agua y concentración estival de la eficiencia térmica menor del 48%. La temperatura histórica media anual es de 14,5°C, con temperaturas medias máximas de 25,9°C para el mes de enero y medias mínimas de 6,2°C en el mes de julio.

Con respecto al régimen mareal según publicaciones del Servicio de Hidrografía Naval en 2008, el régimen de mareas es mixto, predominantemente semidiurno y micromareal, con rangos menores a 2 metros. La amplitud de marea es de 1,1 m en sicigia y de 0,7 m en cuadratura. En eventos de pleamares extraordinarios pueden alcanzar niveles de hasta 3 m.

3.5. ANTECEDENTES HIDROGEOLÓGICOS DE LA LLANURA COSTERA ATLÁNTICA BONAERENSE

Los estudios hidrogeológicos llevados a cabo en el área de estudio fueron enfocados principalmente en la cadena de médanos costeros del Partido de La Costa y fueron realizados principalmente por CFI, 1990; Carretero et al., 2008; González, 2005; Bocanegra, 2007; Carretero, 2011; Carretero et al., 2012; Kruse et al., 2012, Carretero et al., 2013; Carretero et al., 2014; Gómez, 2021.

Asimismo, el CFI estableció un modelo hidrogeológico para las llanuras costeras atlánticas donde definió un Esquema Hidrogeológico General (Tabla 3.3.), según las características litoestratigráficas “que derivan en la enunciación de la geometría de las unidades y su aptitud para recibir, almacenar y transmitir el agua subterránea”. Dicho esquema, abarca geográficamente, no solo el Partido de La Costa, sino también, áreas aledañas, como el sector oriental del Partido de General Lavalle. Si bien el esquema es generalizado, se basó en perfiles (Las Toninas, Mar de Ajó y Punta Médanos) que contemplan distintas áreas y que, a su vez presenta diferencias según el sector analizado (Figura 3.6.).

La secuencia del Esquema Hidrogeológico General comienza con un **Basamento Hidrogeológico**, sobre el cual se apoya el **Complejo Acuífero Semiconfinado**, seguido por una unidad **Acuitardo/Acuícludo** que lo separa del **Acuífero Freático** (Tabla 3.3.).

El Acuífero Freático está compuesto principalmente por arenas finas(A), arenas conchilíferas (B) y en cuya base predominan las arenas finas y arenas arcillosas (C). Esto genera un sitio óptimo de recarga de aguas producto de la infiltración directa de las lluvias.

EDAD		GEOLOGÍA			HIDROGEOLOGÍA	LITOLOGÍA	SECCIÓN
		Formación	Facies	Ambiente			
HOLOCENO	TARDÍO	Punta Médanos	-	Continental (Cordón Costero)	Acuífero Freático	Arenas finas a medianas	A
		Pozo N° 17	La Ernestina	Mar de Ajó		Marino (Barrera Litoral)	Arenas conchilíferas
	TEMPRANO	Pozo N° 8	Arenas Arcillosas Pardas	Pinamar		Marino (Playa -Barrera Litoral)	Arenas finas y arenas arcillosas
				La Victoria	Albúfera	Acuitardo/Acuicludo	Arcillas finas y arcillas arenosas
PLEISTOCENO	TARDÍO	Buenos Aires	-	Continental	Complejo Acuífero Semiconfinado	Limos arenosos y arenas limosas	E
		Pozo N° 10	Oriental	Marino (Litoral a Plataforma Interior)		Arenas y arenas limoarcillosas	F
	MEDIO	Pozo N° 4	-	Marino (Plataforma Interior)	Acuicludo (Basamento Hidrogeológico)	Arcillas plásticas	G

Tabla 3.3. Esquema Hidrogeológico General, tomado y modificado CFI 1990

El área de recarga principal son los médanos costeros, donde a partir de una divisoria de aguas de dirección N-S hace que el escurrimiento subterráneo tenga dos direcciones, una hacia el este, con descarga hacia el mar y la otra con dirección oeste con descarga hacia el continente (Carretero, 2011; Gómez, 2021). Señalando así la presencia de dos interfases una de alto ángulo, de origen marino (cuña agua dulce - agua salada hacia el mar), y la otra continental más atenuada hacia el oeste (cuña agua dulce - agua salobre hacia el continente). En este sector de borde continental, el acuífero se adelgaza y comienza a gradar hacia fases más arcillosas (Figura 3.6.), originando un gradiente de salinidades y desmejoramiento de la calidad del agua (Carretero, 2011; Gómez, 2021). Ya en la llanura de mareas, debido a su composición litológica y carácter anegable, el agua presenta mayores tenores de salinidad (CFI, 1990; Carol et al., 2008). Así mismo, en este sector, se exceptúan los mantos arenosos y crestas de playas, los que constituyen reservorios restringidos que alojan aguas de menor salinidad (CFI, 1990a). Estos depósitos arenosos, son de especial interés debido a que alojan las lentes de agua dulce explotadas para abastecimiento, no solo de las urbanizaciones emplazadas en médanos costeros (Partido de La Costa), sino también para el abastecimiento de la población de las zonas rurales ubicadas al oeste de la RP11 (sector oriental del Partido de General Lavalle).

Por debajo del acuífero freático subyace una arcilla verde grisácea muy plástica con proporciones variables de arena y valvas calcáreas que funcionan como Acuitardo (Tabla 3; D). Le subyace el Acuífero Semiconfinado, el cual presenta tres comportamientos diferentes a lo largo de la región de estudio. En la región norte, zona de San Clemente del Tuyú, se caracteriza por su comportamiento acuicludo, donde presenta niveles acuitardos arcillo limosos que alojan pequeñas lentes arenosas acuíferas, pero de carácter salina. Hacia el centro de la zona de estudio, entre Santa Teresita y Mar de Ajó, estos pequeños reservorios se hacen más importantes y se observa una disminución en el contenido salino, aunque sus condiciones no son óptimas para la explotación y consumo humano (CFI, 1990a). Recién al sur de Mar de Ajó, en el sector de Punta Médanos, se comporta como acuífero con condiciones favorables para el consumo (CFI, 1990a).

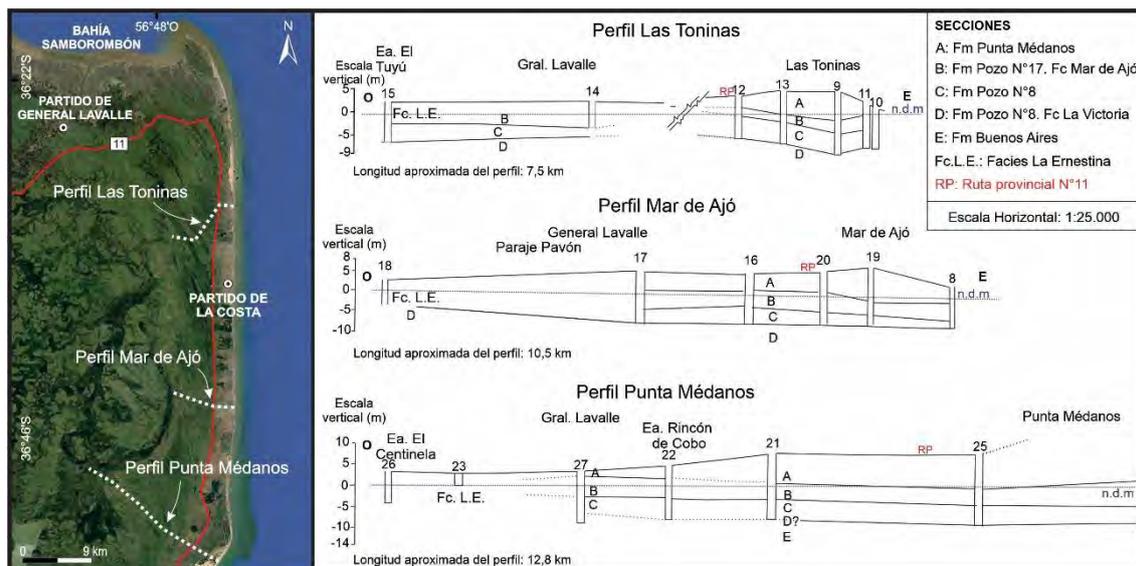


Figura 3.6. Perfiles Hidroestratigráficos con orientación este-oeste en el Partido de la Costa y General Lavalle. Tomado y modificado de CFI, 1990. Las letras mayúsculas, A, B, C, D y E se corresponden a las secciones descritas en la Tabla 3.3.

Con respecto a los espesores de las unidades hidroestratigráficas existen variaciones latitudinales y longitudinales (figura 3.6.). En líneas generales, el Acuífero Freático alcanza su máximo desarrollo en los médanos costeros, con una potencia máxima de entre 12 – 17 m en el Perfil Punta Médanos (Figura 3.6.), siendo la sección A la de mayor espesor en este sector. Hacia el Partido de General Lavalle, la sección A se ve reducida mientras que la sección B aumenta su espesor (4 - 6 m en el Perfil Mar de Ajó) y gradúa lateralmente hacia el oeste con *Facies La Ernestina*. Por su parte, la sección C se mantiene constante en los 3 perfiles con un espesor promedio de 4 m. La Sección D (Acuitardo/Acúcludo) fue atravesada en su totalidad solo en el Perfil Punta Médanos, logrando en este mismo alcanzar la Sección E, correspondiente al Acuífero Semiconfinado (Figura 3.6.).

3.6. ANTECEDENTES PEDOLÓGICOS DE LA LLANURA COSTERA ATLÁNTICA BONAERENSE

La formación de un determinado tipo de suelo depende de los factores que caracterizan el área en el cual se desarrollará. Estos factores, como el clima, relieve, material original, la biósfera y el tiempo actúan de modo independiente, pero influyen entre sí. Así la variación de suelos desarrollados en esta región, ha estado condicionada por las variaciones climáticas ocurridas durante el Cuaternario, que consecuentemente, dieron lugar a las diversas fluctuaciones del n.d.m. (Fucks et al., 2015).

En el INTA se encuentra disponible la actualización de las clasificaciones a nivel subgrupo en el área de estudio (<https://www.argentina.gob.ar/inta>), según la clasificación USDA-SOIL TAXONOMY (2010). A continuación, se presenta un breve resumen de los tipos de suelo definidos para la región costera, correspondiente al área de estudio.

El régimen de temperatura de los suelos, en base a la temperatura ambiental, es del tipo "térmico". Con respecto a los regímenes de humedad, se los clasifica como údicos, y su variante ácuico, cuando el suelo se desarrolla en un bajo topográfico. Los Grandes Grupos son descriptos de acuerdo al Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires a escala 1:500.000 (INTA, 1989):

En forma general, sobre el sector de médanos costeros, se desarrollan suelos pertenecientes a los Udipsaments típicos formados sobre arenas de origen eólico, son levemente alcalinos, excesivamente drenados y con poca profundidad.

En la Llanura de mareas, (en el ámbito de la Bahía Samborombón), los suelos se clasifican como Complejos Indiferenciados, correspondientes a la Serie Bahía Samborombón. A su vez, dicha serie incluye suelos como: Natracuert típico, Endoacuert típico, Natracuol típico, y Hapludol típico, todos ellos caracterizados por ser suelos con régimen de humedad ácuico, sódicos, algunos salinos, argílicos y a veces con rasgos vérticos., tratándose de suelos desarrollados sobre sedimentos arcillosos marinos fluviales. Cabe destacar, la presencia de Hidracuent sulfúricos y Comudert ácuico, los cuales son suelos casi sin desarrollo, alcalinos, ricos en sodio y en materia orgánica, con abundantes rasgos hidromórficos fuertemente bioturbados por la acción de cangrejos.

Por otro lado, los rasgos positivos dentro de la Llanura de mareas, así como en las crestas de playa y depósitos asociados se caracterizan por ser principalmente **Udipsaments típicos**, ya que se desarrollan sobre arenas eólicas. Son suelos arenosos, excesivamente drenados, no sódicos, no salinos y con escaso desarrollo. Estos a su vez, se clasifican en: Calciudol ácuico, Udipsament oxiácuico y Hapludol éntico. Con respecto al primero, este presenta epipedón mólico, escaso desarrollo genético, horizonte cálcico subsuperficial, sódicos y algo salinos, desarrollados sobre sedimentos arenosos finos eólicos y capas de conchilla. El Udipsament oxiácuico, posee un epipedón ócrico y escaso desarrollo genético, donde la capa freática que asciende en algunas épocas, durante más de 30 días al año, satura parte del horizonte. Se encuentra en los bajos entre crestas de playas formados sobre arenas eólicas, son excesivamente drenados, sódicos, no salinos. Por otro lado, el Hapludol éntico es un suelo de incipiente desarrollo, que se forman en las depresiones intermedanasas y en microrrelieve de lomas entre los canales de mareas, con cobertura vegetal del 60 - 90%. El horizonte superficial presenta tenores considerables de materia orgánica, mientras que en subsuperficiales son bajos.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

En este apartado se expondrán los resultados obtenidos en el área de estudio a partir de la implementación de la Metodología detallada en el Capítulo 2.

4.1. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO Y LITOLÓGICO

Desde los paralelos 36° 46' S y 36° 18' S y los meridianos 56° 56' O y 56° 40' O, se han identificado 2 geoformas principales, la llanura de mareas, y el sector de espigas arenosas (Figura 4.1.1.). A continuación, se describirán dichas geoformas haciendo hincapié en el sector de espigas arenosas y sus depósitos asociados, las cuales serán tratadas con mayor detalle.

La **llanura de marea**, o planicie costera (definida y descrita por Parker, 1979, Violante et al., 2001 y San Martín, 2014) localizada en el sector oeste del área corresponde a áreas deprimidas e inundables con topografías inferiores a los 2 m y las cuales drenan sus aguas a través de paleocanales de mareas y canales de marea asociados hacia el norte con marismas. La baja pendiente y la cubierta vegetal influyen en el drenaje haciéndolo lento y restringido.

Los canales de mareas en el Sector Norte (Bahía Samborombón- Punta Rasa), actualmente se encuentran influenciados por la acción mareal actual, mientras que en el Sector Centro y Sur del área, se hallan desconectados de la misma. Estos canales son particularmente más anchos hacia el este y se hallan bordeando áreas de mayores alturas (pudiendo llegar a alturas entre 2 y 3 m)

(Fig. 4.1.1). Por otro lado, los canales ubicados en el sector inactivo se caracterizan por presentar diversidad tanto en el diseño, como en la densidad, tamaño y por ser inundados en periodos de excedentes hídricos.

Hacia el este de esta unidad puede distinguirse claramente el sector de **espigas arenosas**. Dichas espigas, se extienden en una faja paralela a la línea de costa, de sur a norte desde Punta Médanos hacia Punta Rasa, donde actualmente se encuentran activas (Dragani, 2014). Crecen paralelas a la costa con sus puntas dirigidas hacia el continente y en dirección NO, presentando variaciones latitudinales de altura y ancho.

El sector de espigas ha sido subdividido en unidades geomorfológicas menores partiendo de criterios genéticos de su formación en: crestas de playas y depósitos eólicos asociados a la evolución de las espigas arenosas. A su vez, estas geoformas menores han sido subdivididas en otras, teniendo en cuenta no solo criterios genéticos, sino también considerando la afección de los flujos mareales actuales (Tabla 4.1.1.).

GEOFORMA PRINCIPAL	GEOFORMAS MENORES	SUBUNIDADES
LLANURA DE MAREAS	LLANURA DE MAREA ACTUAL ANTIGUA LLANURA DE MAREA	Canales activos Canales inactivos
ESPIGAS ARENOSAS	CRESTAS DE PLAYA	Crestas de playa en zonas continentales (Cpc) Crestas de playa en zonas intermareales (Cpi)
	DEPÓSITOS EÓLICOS	Mantos arenos (M-I) Médanos sobreimpuestos a Cpc (M-II) Médanos sobreimpuestos al cordón costero actual (M-III)

Tabla 4.1.1. Unidades geomorfológicas presentes en el área de estudio.

A continuación, se describirán dichas unidades:

1-CRESTAS DE PLAYA: esta subunidad corresponde a geoformas de acumulación marina con forma de montículo longilíneo paralelo a subparalelo a la lineación general de la costa, contienen gran cantidad de material bioclástico y constituyen geoformas de alta energía (Codignotto y Aguirre 1993, Violante et al., 2001). Dichas acumulaciones representan pulsos energéticos que se forman cuando se alcanzan los niveles más altos del oleaje (producto de la coincidencia de eventos de tormenta con la mayor amplitud de marea), depositando el material clástico de la playa sumergida en la playa propiamente dicha. En periodos de calma, la playa es reabastecida de material clástico por deriva litoral y cuando se produce un nuevo pulso energético se deposita otro montículo paralelo adosado al anterior (Codignotto, 1997).

Dicha unidad se extiende en una franja desde Punta Médanos hacia Punta Rasa y limita al este con la cadena medanosa costera actual (M-III en Tabla 4.1.1 y Fig. 4.1.1) y al oeste con la llanura de mareas. Presenta una morfología característica con sucesivas crestas de playas separadas y bordeadas por bajos intercrestales. En la Figura 4.1.1 se pueden ver como lineamientos claros y oscuros paralelos entre sí, alargados en dirección NO, donde las crestas (sectores de mayor expresión topográfica) alcanzan cotas entre 2 y 6 m s.n.m. y anchos que varían desde decenas a centenas de metros.

En dicha unidad geomorfológica existe un gradiente latitudinal en cuanto a las alturas topográficas, en su morfología y en lo que refiere a la distancia respecto a la línea de costa, característica que hará que determinados sectores presenten influencia de las mareas actuales

y sectores que no. Por este motivo, se decidió subdividir esta unidad en dos sectores bien diferenciados: crestas de playa ubicadas en zonas con influencia mareal (Cpi) y crestas de playa ubicadas actualmente en zonas continentales (Cpc) (Figura 4.4.1).

Las **crestas de playa ubicadas en zonas continentales (Cpc)** se extienden desde Punta Médanos hacia el norte próximo a la localidad de San Clemente del Tuyú. Dicha unidad no se encuentra en contacto o bajo influencia directa con el mar, sino que limita al este con los depósitos eólicos M-III. En el Sector Centro - Sur (Figura 4.1.1) se disponen en forma discontinua, diferenciando fácilmente a la altura de Punta Médanos, dos parches de crestas de playas con forma de abanico, con dirección NO, donde las crestas se hallan paralelos entre sí con alturas máximas de 6 m s.n.m.

En el Sector Centro - Norte, las crestas se disponen de manera continua y sus alturas máximas llegan a los 4 m s.n.m. No obstante, son más angostas y más cercanas entre sí, mientras que, los bajos intercrestales se comportan como bajos inundables ya sea de carácter permanentes o intermitente. Si bien en este sector las puntas de las espigas pueden encontrarse conservadas, existen rasgos circulares a subcirculares que podrían atribuirse a la acción eólica o a acción mareal, dada la posibilidad de que hayan permanecido parcial o totalmente inundadas desde su formación.

Las **crestas de playa ubicadas en zonas intermareales (Cpi)** se extienden de forma continua desde el sector próximo a la localidad de San Clemente del Tuyú hasta Punta Rasa, punto donde se produce la confluencia del estuario exterior del Río de la Plata con el Mar Argentino (Figura 4.1.1.). Aquí las espigas son libres, con crestas de menor altura (aproximadamente 2 o 3 m s.n.m.) y donde la distancia entre las mismas es mayor, comparado a las Cpc. Además, este sector cuenta con bajos inundables más anchos e interconectados, los cuales están surcados por canales de marea activos que los comunican con el Mar Argentino y con el estuario exterior del Río de la Plata (Figura 4.1.1). Dichos canales erosionan actualmente estos sectores y cortan las crestas en sus puntas.

2. DEPÓSITOS ASOCIADOS: esta subunidad de la espiga arenosa (Tabla 4.1.1) corresponde a depósitos medanosos producto de la acción de los vientos provenientes del mar, caracterizados por sus morfologías subcirculares en superficie, lo cual evidencia su origen (Isla et al., 2001). Se pueden distinguir 3 subunidades: pequeños montículos o mantos (M-I) sin morfología definida dentro de la antigua llanura de marea; hacia el este de estos, una cadena medanosa sobrepuesta a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales (M-II) y hacia el sector litoral una cadena medanosa sobrepuesta al cordón costero actual (M-III) dispuesta en una franja continua con orientación N-S desde Punta Médanos hasta las inmediaciones de Punta Rasa.

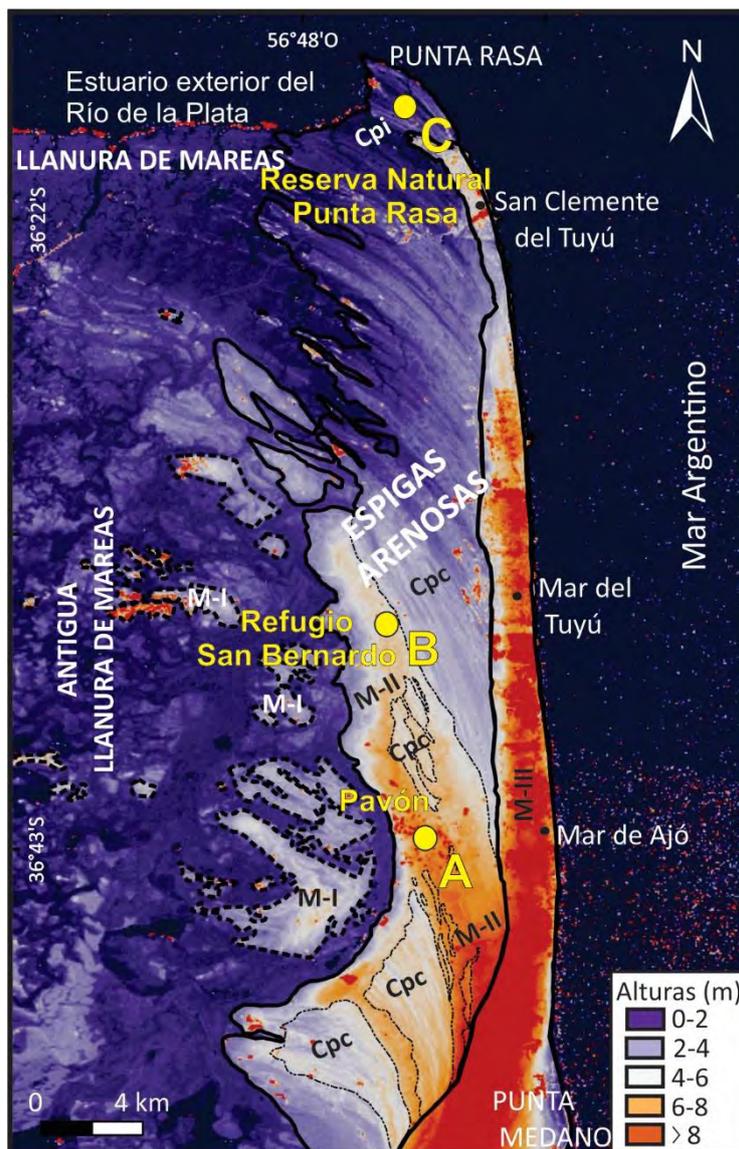


Figura 4.1.1. MDE (TanDEM-X 90m). Geomorfología del área de estudio. A, B y C corresponden al Sector Sur, Central y Norte, respectivamente. Donde: Cpc: crestas de playa en zona continental, Cpi: crestas de playa en zona intermareal, M-I: mantos arenosos, M-II: médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales, M-III: médanos sobreimpuestos al cordón costero actual.

Mantos arenosos (M-I): (Parker, 1979) corresponden a pequeñas geoformas irregulares o con forma de manto de aproximadamente 3 a 3,5 m s.n.m., que suelen presentarse en los Sectores Sur y Centro. Las alturas de estos depósitos disminuyen de sur a norte. Su superficie no es lisa, sino que presenta rasgos subcirculares en toda su extensión. Son depósitos eólicos arenosos inmersos en la antigua llanura de marea que son transportados por el viento desde la cadena de médanos costeros y depositados en pequeñas cubetas de materiales finos y húmedos. Dichos mantos pueden estar seccionados por paleocanales, los cuales se encuentran parcialmente cubiertos de arena.

Médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales (M-II): (también llamados, Médanos II por Parker, 1979 y Campos de dunas marginal o degradada por Marcomini y López, 1997; López, 2010 y San Martín et al., 2014), observada en la imagen como una duna alargada de dirección noroeste que se dispone en una franja discontinua desde

Punta Médanos hasta las inmediaciones del Refugio San Bernardo, cubriendo a las Cpc en algunos sectores (Figura 4.1.1). En su margen oeste limita con paleocanales de mareas de la llanura costera. En el ámbito del Paraje Pavón, M-II alcanzan cotas máximas de 7 m s.n.m, las cuales disminuyen progresivamente hacia el norte presentando en cercanías del Refugio San Bernardo - los Ñandúces cotas máximas de 4 m s.n.m. En esta subunidad ya no se observan las lineaciones típicas del sector de las crestas de playa, sino una espiga de mayor tamaño modificada por acción eólica ya que presenta depósitos de formas subcirculares. En su centro y siguiendo la dirección de su crecimiento se pueden observar pequeños parches de crestas de playa infrayacentes, rasgo indicativo de que se trata de una duna sobreimpuesta al sector antes mencionado que lo rodea.

Cabe destacar que en el Sector Sur se encuentra modificado antrópicamente por el asentamiento del Paraje Pavón. No presenta agua superficial debido a su elevada permeabilidad (otorgada por sus sedimentos arenosos).

Médanos sobreimpuestos al cordón costero actual (M-III): (también definido como Cordón Costero por Parker, 1979) esta subunidad corresponde a los médanos costeros actuales y es el sector de espigas con mayores alturas, desarrollados sobre los cordones litorales actuales y originados por la remoción y transporte de arena de la playa por el viento hacia el continente. Limita al oeste con las crestas de playas y al este con el frente de la costa del Mar Argentino. Se desarrollan en una faja S-N sin interrupción, desde Punta Médanos hacia las inmediaciones de Punta Rasa, dirección en la cual se da también una disminución gradual de sus alturas, alcanzando las máximas en el ámbito de Punta Médanos (alturas mayores a 8-10 m s.n.m) y las menores en Punta Rasa donde desaparecen gradualmente (en las inmediaciones de la localidad de San Clemente del Tuyú) (Figura 4.4.1). Morfológicamente no es fácil distinguirlos debido a la vegetación, a las variaciones en las formas que los diferentes vientos ocasionan (Mazzoni y Spalleti, 1979) y su superficie se encuentra fuertemente modificada antrópicamente a lo largo de la unidad por el desarrollo de las distintas localidades pertenecientes al Partido de La Costa. Sin embargo, en determinados lugares conserva morfologías circulares a irregulares propias de depósitos eólicos.

Se presentarán a continuación las características geomorfológicas de cada Sector, así como también su vegetación, uso del suelo y los resultados del análisis litológico.

4.1.1. Sector Sur

En la Figura 4.1.2 A y B puede apreciarse, ya sea en el Tan-DEM-X 90m como en la imagen satelital, el sector de espigas arenosas donde se reconocen las unidades M-I, M-II, Cpc y M-III. En campo, estas unidades no se distinguen fácilmente por rasgos morfológicos, pero pueden apreciarse las variaciones en la coloración de la vegetación, así como en los cambios de especies vegetales dominantes en las mismas. En la antigua llanura de mareas (Figura 4.1.2B y c), dominan los pastizales y especies propias de bajos salinos, como el pelo de chancho (*Distichlis sp*) y *Sarcocornia sp*. En cambio, en M-I se diferencia una baja densidad de especies de gran tamaño, representada principalmente por talas, coronillos y ombúes. En los bajos anegables intercrestales de las Cpc (Figura 4.1.2B y a) dominan los juncos, como *Schoenoplectus sp.*, *Juncus sp.*; senecio y totoras. En M-II no es posible distinguir la vegetación natural, ya que el suelo ha sido modificado por el emplazamiento del Paraje Pavón (Figura 4.1.2B y b), el cual en algunos sectores está parquizado y en otros utilizado para cría de ganado. No obstante, es posible distinguir parches de suelo desnudo, con arena suelta en su superficie. En M-III, al igual que en

M-II, el ambiente se haya modificado antrópicamente, debido a que se encuentra la localidad de Mar de Ajó (Figura 4.1.2B, d y e).

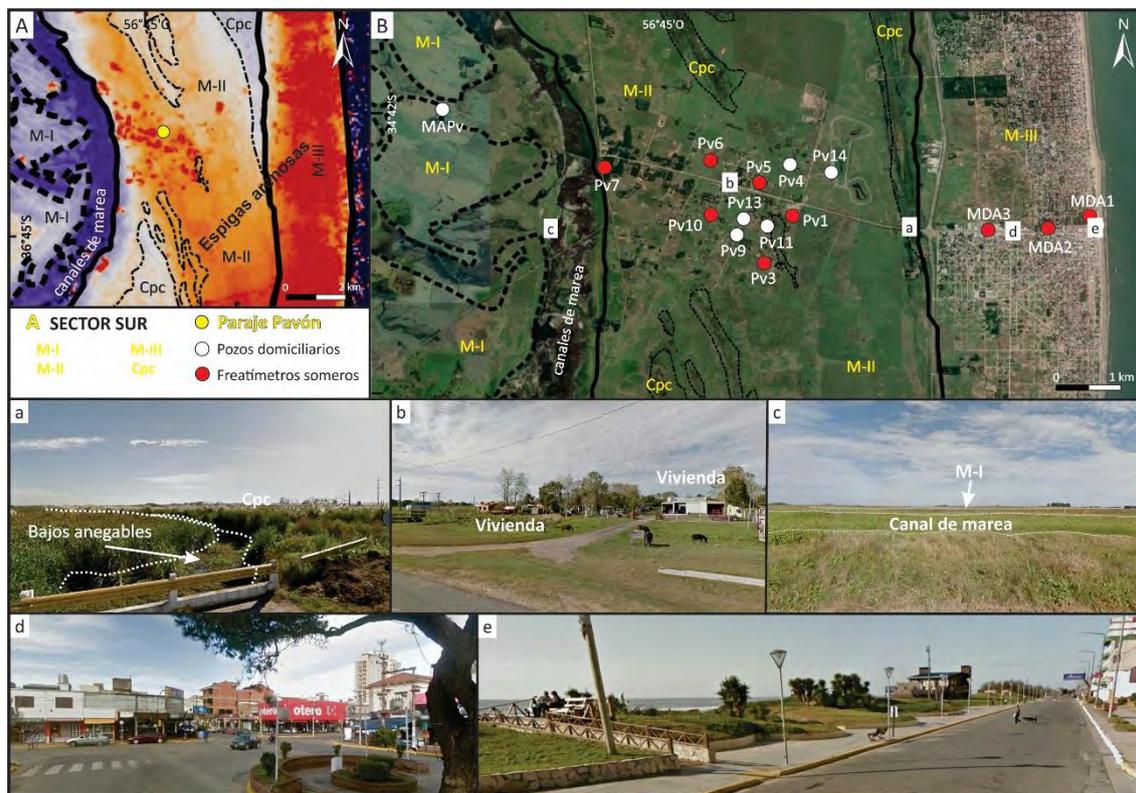


Figura 4.1.2. A-Tan-DEM-X 90m, B- imagen satelital del sector sur: Paraje Pavón. Trazado de Geomorfología y red de monitoreo. M-III: médanos sobreimpuestos al cordón costero actual; M-II: médanos sobreimpuestos a crestas de playa actualmente en zonas continentales; M-I: mantos arenosos; Cpc: crestas de playa actualmente en zonas continentales. a, b, c, d y e corresponden a fotografías tomadas en campo: a- Cpc; b-Zona urbanizada del Paraje Pavón (M-II); c- Sector de antigua llanura de marea y M-I; d- Localidad de Mar de Ajó, zona céntrica (M-III); e- Localidad de Mar de Ajó, sector costero (M-III).

4.1.1.1. Análisis litológico

La descripción y análisis de las muestras obtenidas a partir de la construcción de los freáticos en el sector de los médanos sobreimpuestos M-II y M-III (Figura 4.1.2. B) evidencian que los mismos se componen de arenas con granulometrías que varían entre 0,062 mm hasta 2 mm. Los análisis granulométricos realizados en cada freático a distintas profundidades muestran que predomina el tamaño psamítico (tamaño de grano entre 0,062 y 2 mm) con un promedio entre 94,7 y 99,6%, tamaños psefíticos (mayores a 2 mm) menores al 3,1% y pelitas (fracciones menores a 0,062 mm) en menor proporción, cuyo porcentaje promedio es inferiores al 2,2%. Si bien texturalmente se tratan de arenas, en cada pozo realizado, existen variaciones de acuerdo a los porcentajes granulométricos, así como en profundidad (Figura 4.1.3 y 4.1.4). A su vez cabe destacar que, dentro de las psamitas, hay un dominio importante del tamaño fino (arenas finas) cuyo promedio representa entre 52,1 y 85,5% del tamizado total, seguido de arenas medias con porcentajes que varían de 8,6 a 26,2%.

En la unidad M-II, a pesar del predominio de las arenas finas en todos los pozos analizados (Figura 4.1.3), en el freático Pv7 ubicado al oeste en el límite con la llanura de mareas, se determinó un leve aumento del contenido de sedimentos finos en profundidad (alcanzando 7% de arenas muy finas y 3,7% de pelitas), así como de fracciones mayores a 0,25 mm, acompañado por un descenso de las arenas finas.

Con respecto a las coloraciones de las arenas (ver columna estratigráfica en Figura 4.1.3 y 4.1.4), las mismas difieren de un sector a otro y en profundidad, variando de coloraciones grisáceas oscuras a castañas grisáceas. Se observan fragmentos de valvas diseminadas en las columnas en Pv5 y Pv6 (Figura 4.1.4) las cuales varían en tamaños llegando a medir en algunos casos hasta 1,5 mm de diámetro (Pv5 en Figura 4.1.4). Sin embargo, en Pv1 y Pv7, (Figura 4.1.3.) solo se destacan fragmentos de conchillas en profundidad. Vale mencionar que en el frentímetro Pv7 se alcanzó una profundidad de 1,7 m dentro de la cual, entre 1,2 y 1,6 m, cambian las coloraciones a grises muy oscuras casi negras, coincidentes con una disminución la fracción de arenas finas y aumento notable del porcentaje de las fracciones mayores a 0,25 mm. También es relevante el incremento de materiales finos (menores a 0,062 mm) en este sector pudiendo llegar al 3% del volumen total, rasgo que le otorga una textura al tacto más plástica. Por otro lado, en este nivel, se detectan pequeños nódulos de carbonato (rasgo observado con lupa binocular y por su reacción frente a HCl) (Figura 4.1.3) que desaparecen a mayores profundidades, detectándose en cambio, fragmentos de conchillas.

Con respecto a la mineralogía, a través de la observación con lupa binocular y análisis de Rayos X, se ha podido determinar la presencia de granos redondeados a subredondeados de cuarzo, feldespatos, fragmentos de conchillas y minerales máficos, pudiéndose reconocer por su brillo característico y por su separación a través de imanes la presencia de Magnetita (Figura 4.1.3 y 4.1.4) También es frecuente la presencia de fragmentos líticos rojizos.

Por su parte, en los puntos analizados en **M-III**, al igual que en M-II, existe un dominio importante del tamaño arena representando el 99% del tamizado total realizado en cada frentímetro, mientras que, el 1% restante corresponde a material pelítico. No se observa presencia de clastos mayores a 2 mm. Los depósitos están compuestos principalmente por arenas finas seguido de arenas medias y arenas muy finas en baja proporción (Figura 4.1.5). Asimismo, en los frentímetros MDA1 y MDA3 puede apreciarse un incremento en el contenido de arena fina y finos en profundidad, al mismo tiempo que decrece el contenido en arenas medias. No obstante, esta característica no se observa en el MDA2, dentro del cual se mantiene casi constante el contenido de las fracciones en profundidad. Con respecto a las coloraciones, las arenas son castañas amarillentas, a excepción de MDA1, ubicado al este hacia el límite con la playa, cuyo color varía a más oscuro en su porción más superficial y tornándose castañas amarillentas en profundidad (Figura 4.1.5). Así como ocurre en M-II, la mineralogía está conformada por granos redondeados a subredondeados de cuarzo, feldespatos, magnetita, líticos rojizos y oscuros, así como la presencia de fragmentos de conchillas en baja proporción y con tamaños que varían entre 0,062 y 2 mm.

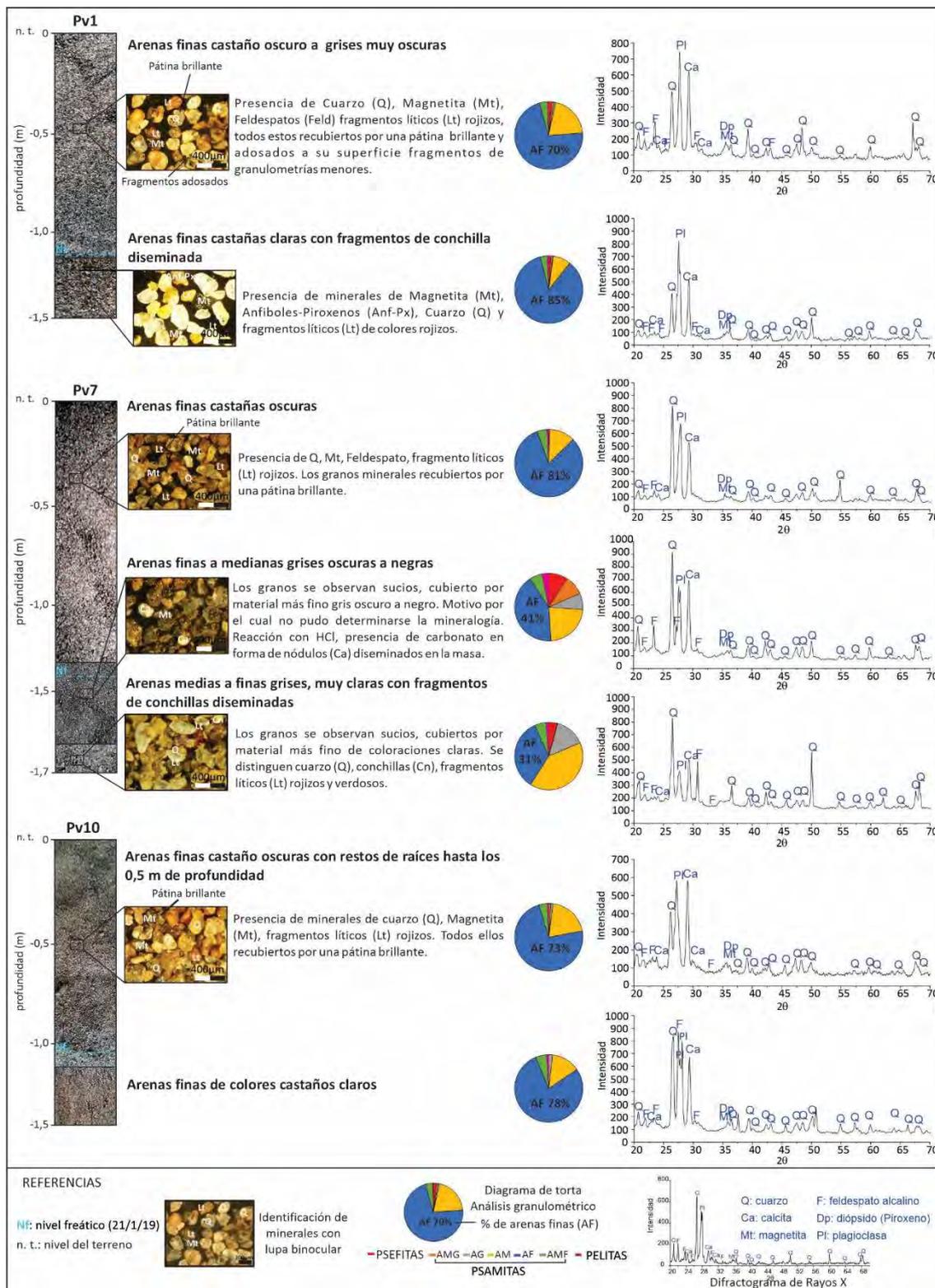


Figura. 4.1.3. Freatímetros someros, Sector Sur: M-II. Pv1, Pv7, Pv10. Análisis textura (Diagrama de tortas) y mineralógico con lupa binocular y Rayos X. Las columnas estratigráficas fueron armadas con fotos reales tomadas de los sedimentos recolectados de freáticos secados a estufa.

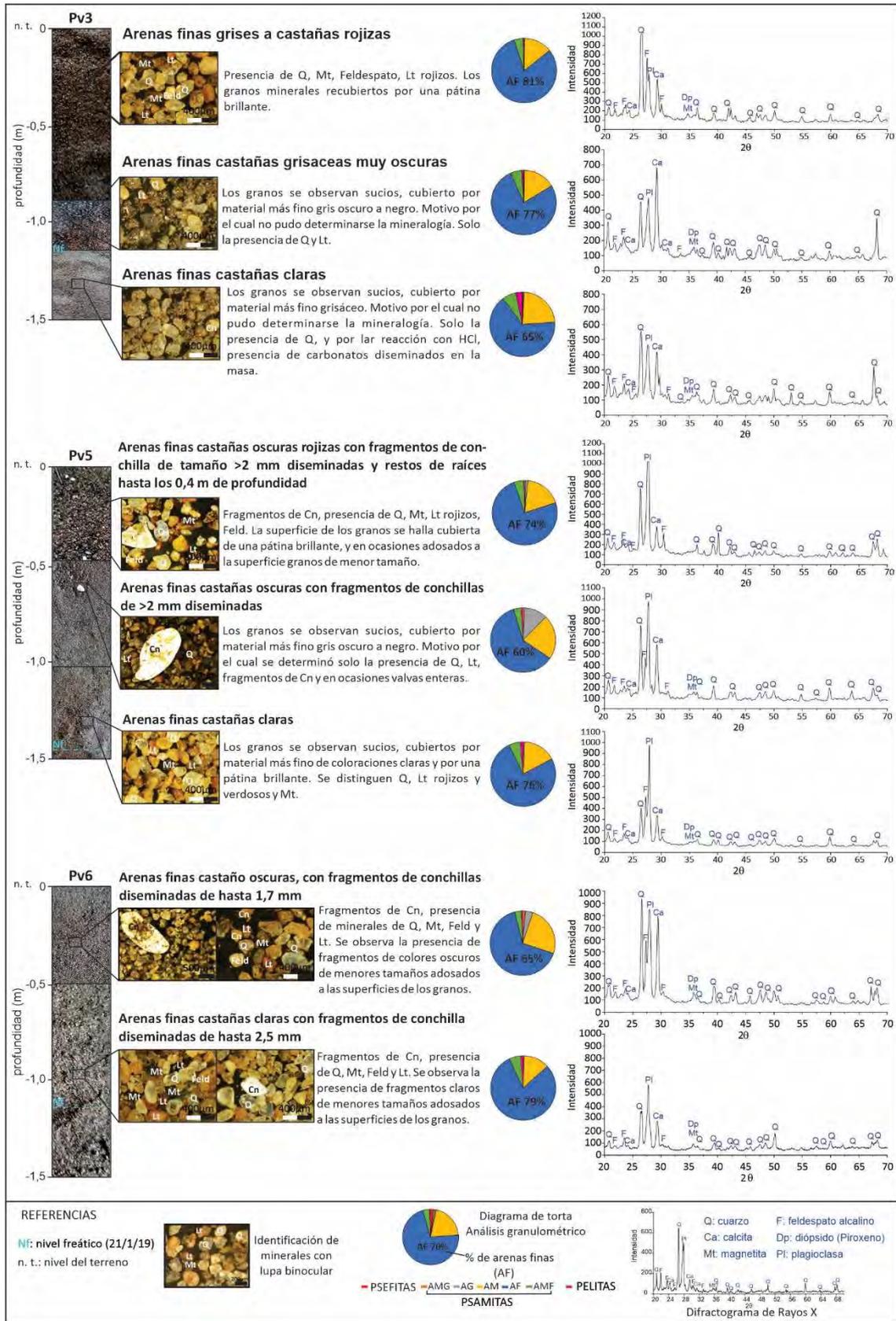


Figura 4.1.4. Freatímetros someros, Sector sur. M-II: Pv3, Pv5, Pv6. Análisis textura (Diagrama de tortas) y mineralógico con lupa binocular y Rayos X. Las columnas estratigráficas fueron armadas con fotos reales tomadas de los sedimentos recolectados de freáticos secados a estufa.

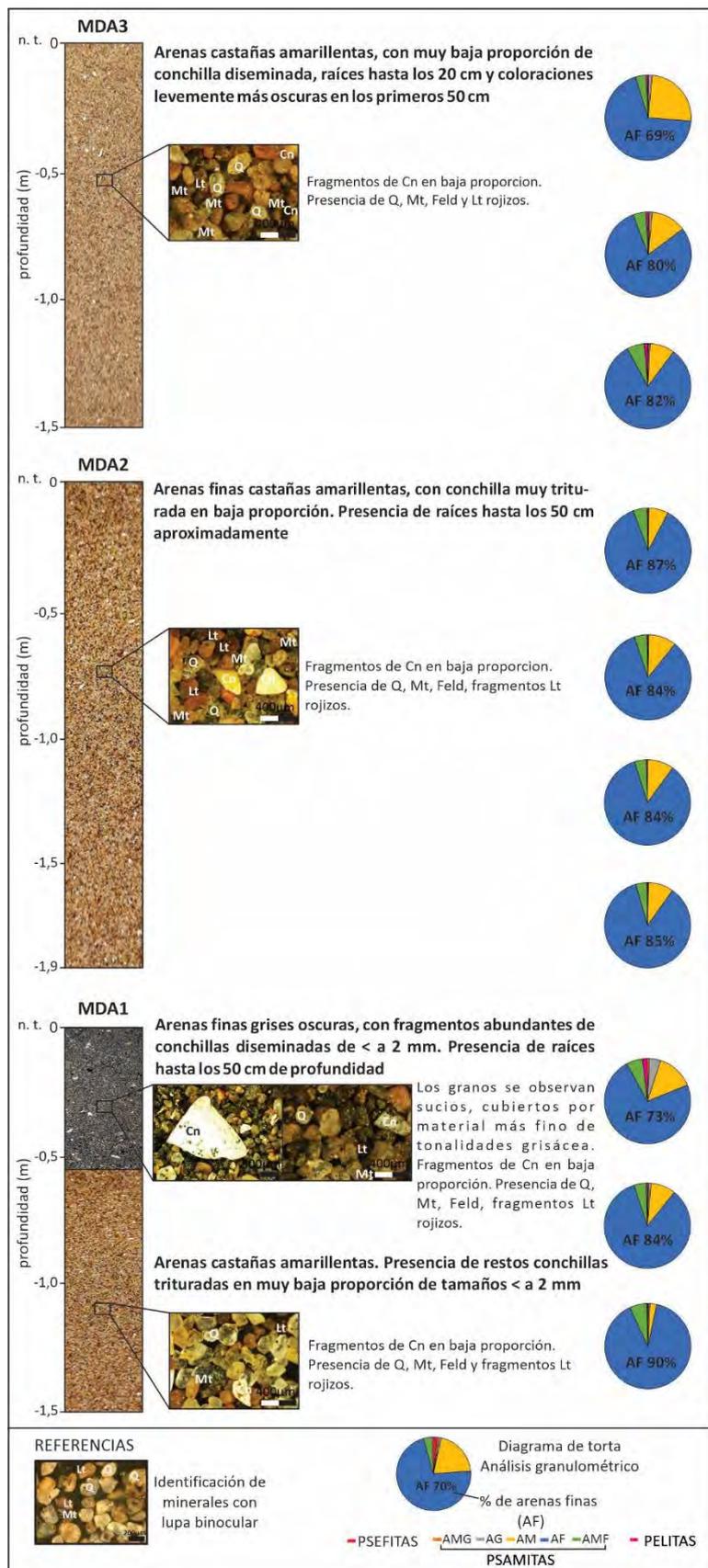


Figura 4.1.5. Freatímetros someros. Sector Sur: M-III. MDA1, MDA2, MDA3. Análisis textura y mineralógico con lupa binocular. Las columnas estratigráficas fueron armadas con fotos reales tomadas de los sedimentos recolectados de freáticos secados a estufa.

4.1.2. Sector Central

A lo largo de la transecta que conforma este Sector de estudio se observa de este a oeste la presencia de M-III sobre la zona litoral, luego Cpc (de baja expresión topográfica separadas y bordeadas por bajos anegables intercrestales) y M-II (depósito arenoso de mayor expresión topográfica que las Cpc) y hacia el extremo oeste los depósitos arenosos correspondientes a M-I (Figura 4.1.6).

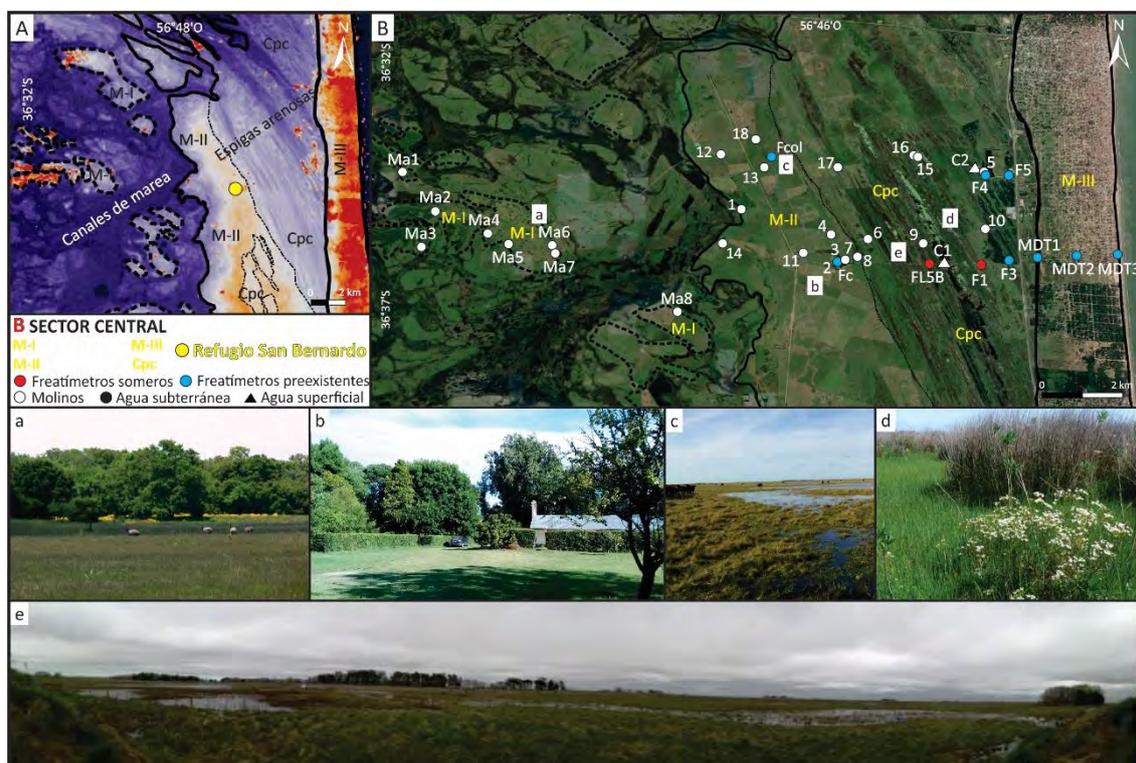


Figura 4.1.6. A-Tan-DEM-X 90m, B- imagen satelital del sector central: Refugio vida silvestre. Estancia San Bernardo- Los Ñandúces. Trazado de Geomorfología y red de muestreo, M-III: médanos sobreimpuestos al cordón costero actual; M-II: médanos sobreimpuestos a crestas de playa actualmente en zonas continentales; M-I: mantos arenosos; Cpc: crestas de playa actualmente en zonas continentales. a, b, c, d y e corresponden a fotografías tomadas en campo: a- M-I; b- M-II; c- M-II; d- Cpc, borde de cañadas; e- Ambiente de Cpc y sus bajos anegables.

La unidad M-III se dispone de forma alargada con orientación N-S, con alturas mayores a 6 m s.n.m. Limitando esta unidad hacia el oeste se distinguen los depósitos de Cpc donde las crestas presentan topografías menores (entre 3 y 4,5 m s.n.m.) alargadas en sentido NO-SE, y separadas por bajos de menores alturas, que en periodos de excedentes hídricos se encuentran anegados. Con respecto a M-II, se reconocen morfologías circulares atribuidas a acción eólica con alturas entre 4,5 y 6 m s.n.m. Por su parte, los mantos arenosos (M-I), presentan alturas entre 3 y 3,5 m s.n.m., cuyas morfologías son irregulares a subredondeadas con su eje mayor siguiendo la dirección predominante de las Cpc.

Estas unidades en campo se distinguen fácilmente, por un lado, por las diferencias en la topografía y, por el otro, por los cambios en la vegetación y usos del suelo. Sobre M-III se emplaza la localidad de Mar del Tuyú, lo que hace que el suelo se encuentre modificado, aunque puede distinguirse en varios sectores la vegetación natural. Hacia el oeste sobre las unidades Cpc, M-II y M-I se desarrolla el Refugio Natural Vida Silvestre Estancia San Bernardo - Los Ñandúces, donde se preserva mayormente la flora autóctona. En las Cpc las especies vegetales de las cañadas son conservadas y son característicos los pajonales de *Juncus sp.*, *Schoenoplectus*

sp., senecio y totoras (Figura 4.1.6.B, d y e). En M-II se ubica el casco de la estancia (Figura 4.1.6B y b), por lo que se encuentra parquizado y no es posible destacar las especies dominantes. Hacia el norte de esta unidad, en periodos de exceso hídrico, es posible observar anegamientos en la superficie (Figura 4.1.6.B y c). Los M-I son reconocidos por el relieve positivo dentro de la antigua llanura de mareas y por la presencia de talas, coronillos y ombúes de gran porte, que hacia la antigua llanura de mareas desaparecen bruscamente, cambiando a pastizales propios de suelos salinos, como pelo de chanco, *Sarcocornia sp.* y *Malvella leprosa sp.*, entre otras. Dentro de los M-I se puede destacar la mayor densidad de arboledas de gran porte en los mantos ubicados hacia el oeste (Figura 4.1.6.B y a).

4.1.2.1. Análisis litológico

El análisis de los sedimentos recolectados durante la construcción de los freáticos corresponde a la unidad Cpc habiendo alcanzado profundidades de 5,5 metros. Los resultados indican que los depósitos están compuestos en su mayoría por fracciones psamíticas (en promedio representan el 97-99% del volumen total tamizado en los pozos), seguido de la fracción pefítica con un porcentaje inferior al 2% y la pelítica no supera el 1%. Dentro la fracción psamítica, se destaca el predominio de arenas finas (con un valor promedio de 86%) seguidas de arenas medias (valor promedio máximo de 8%) y arenas muy finas (con valores promedios máximos de 4,5%, pudiendo alcanzar el 13% en algunos sectores). Cabe destacar también que las pefitas están representadas únicamente por valvas de conchillas de diferentes diámetros, ya sean fragmentadas o enteras.

El freático F1 (Figura 4.1.7) presenta un elevado contenido de arenas finas en toda la columna y una tendencia a disminuir en profundidad, donde a los -5,3 m alcanza el valor mínimo del 60% en esta fracción. Esta tendencia negativa de la fracción arenas finas en profundidad coincide con un leve aumento de fracción de arenas medias (tendencia positiva en profundidad) y de la fracción pefítica. Cabe destacar que dentro de la fracción psamítica los porcentajes de arenas muy finas son elevados en los sectores más superficiales, los porcentajes de arenas finas se mantienen en toda la columna y los de arenas gruesas aumentan en profundidad.

Presenta un nivel superior de colores grisáceos oscuros seguido por un nivel grisáceo más claro, ambos con conchillas trituradas diseminadas en baja proporción de tamaños menores a 2mm, destacando la presencia de arenas muy finas y finos (tamaño pelítico) en altas proporciones, alcanzando el 3% y el 8% entre 1 y 1,5 m de profundidad. Por debajo de este nivel, desde 1,5 hasta los 2,5 m de profundidad se presentan arenas de color castañas amarillentas, con conchillas trituradas en baja proporción y tamaño. El valor máximo de contenido de arenas finas se da a los 2-3 m de profundidad donde alcanza un 94%. A partir de los -2,5 m el contenido de conchillas aumenta en profundidad notoriamente. Entre los -2,5 y -3 m las conchillas se presentan trituradas y diseminadas, con tamaños menores a 2 mm. Sin embargo, de los -3 a -3,8 m el tamaño de las conchillas, así como su contenido aumenta notablemente, los tamaños son mayores a 2 mm y están representados por valvas enteras y fragmentadas. Intercalado a este nivel, entre los -3,8 y -4 m aparecen arenas finas seguidas de muy finas con conchillas diseminadas en baja proporción inferiores a los 2 mm de diámetro. Seguido a este nivel, continúan las arenas finas en mayor proporción, las cuales disminuyen con el aumento de arenas medias y fracciones mayores a 2 mm, formadas por conchillas enteras y fragmentadas, así como diseminadas en tamaños menores. Con respecto a las coloraciones, las arenas son castañas grisáceas en toda la columna, a excepción del nivel -1,5 a -2,5 m, donde se presentan en coloraciones castañas amarillentas. Por su parte, la mineralogía reconocida en el sedimento,

corresponde a cuarzo, feldespatos, piroxenos (diópsido: Dp), magnetita, fragmentos líticos y conchillas.

Los sedimentos correspondientes al frentómetro FL5B (Figura 4.1.8), se caracterizan por presentar coloraciones castañas grisáceas y predominio de arenas finas las cuales presentan una tendencia a disminuir en profundidad, coincidente con un aumento de arenas medias y del tamaño psefítico. Con respecto a las arenas muy finas, así como las pelitas presentan elevado porcentaje en el sector más superficial, disminuyendo en profundidad. La columna comienza con un nivel superficial grisáceo oscuro, con diseminación de conchillas en baja proporción con tamaños menores a 2 mm. A los 0,7 m de profundidad las coloraciones de las arenas se tornan más claras y continúan presentes las conchillas diseminadas. Desde los 0,7 m hasta los 3 m de profundidad, las arenas se tornan levemente más oscuras y continúan las conchillas diseminadas en baja proporción. A profundidades mayores a los 3 m las conchillas se hacen más notables en tamaño y en cantidad (elevada proporción). Donde a partir de los -4,5 m hacia la base de la columna (-5,3 m) aumenta el porcentaje de arena media y psefitas y disminuye el tamaño de arenas finas. Las psefitas en este sector están representadas por valvas de conchillas enteras y fragmentas, así como por fragmentos líticos de gran tamaño.

Con respecto a la mineralogía, a través de lupa binocular, se reconocieron granos de cuarzo, feldespatos, magnetitas, fragmentos líticos rojizos y oscuros, así como la presencia de conchillas y calcita. La observación en detalle de los granos de arena en corte delgado a través del microscopio petrográfico permitió reconocer que los minerales de cuarzo se presentan de manera límpida, mientras que los feldespatos, plagioclasas, anfíboles y piroxenos están alterados, caracterizándose los dos últimos por presentar venillas de óxidos de hierros asociados a la alteración. Asimismo, en las fotografías se observa que la mayoría de las superficies de los minerales presentan un borde fino de coloraciones pardo-rojizas de óxidos de hierro. A través de análisis de Rayos X, se pudieron corroborar la presencia de cuarzo, feldespatos, diópsido, magnetita y calcita (Figura 4.1.8).

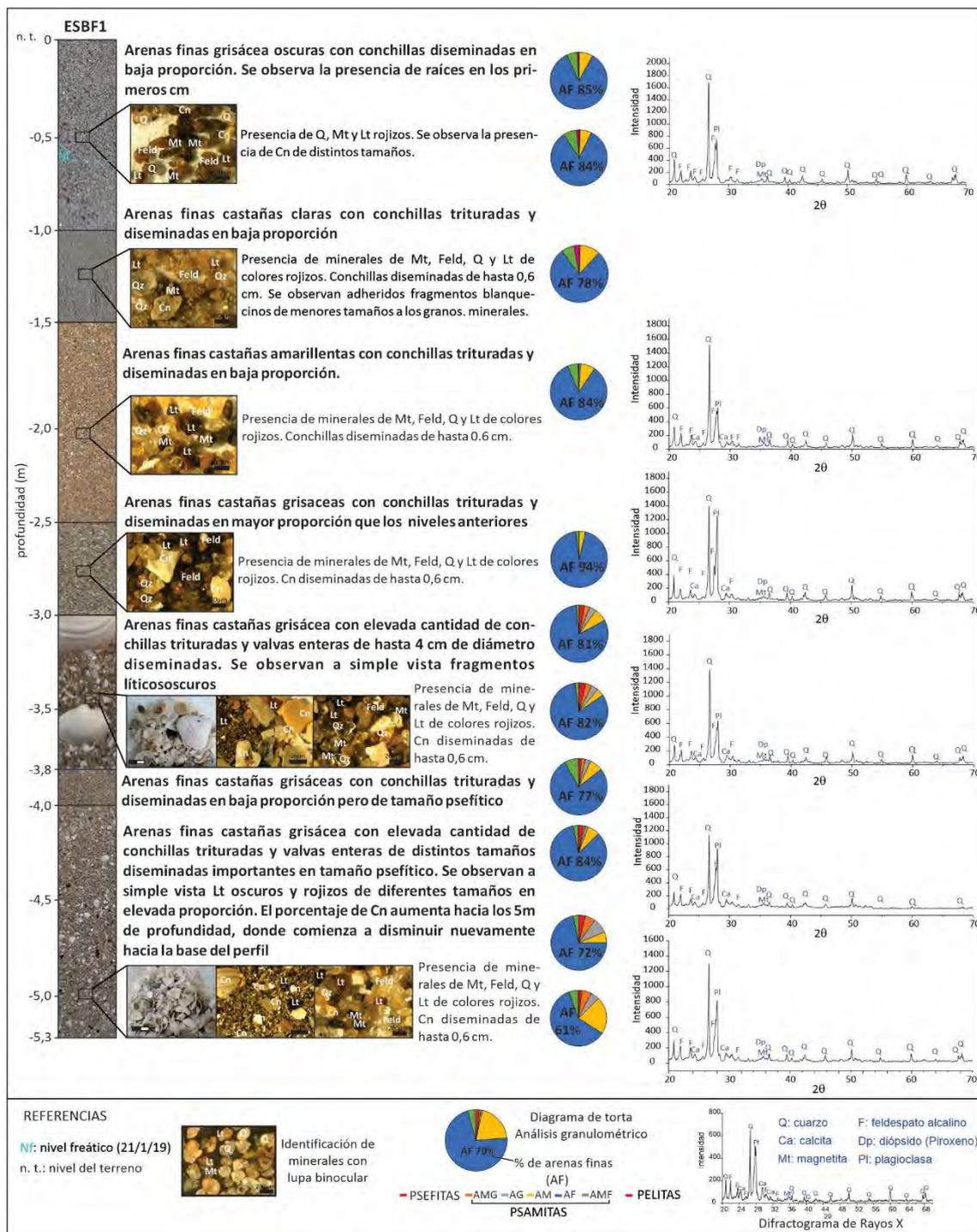


Figura 4.1.7. Freatímetros someros. Sector Central: Crestas de playas en zonas continentales: Cpc. ESBF1. Análisis textural y mineralógico con lupa binocular y Rayos x. Las columnas estratigráficas fueron armadas con fotos reales tomadas de los sedimentos recolectados de freáticos secados a estufa.

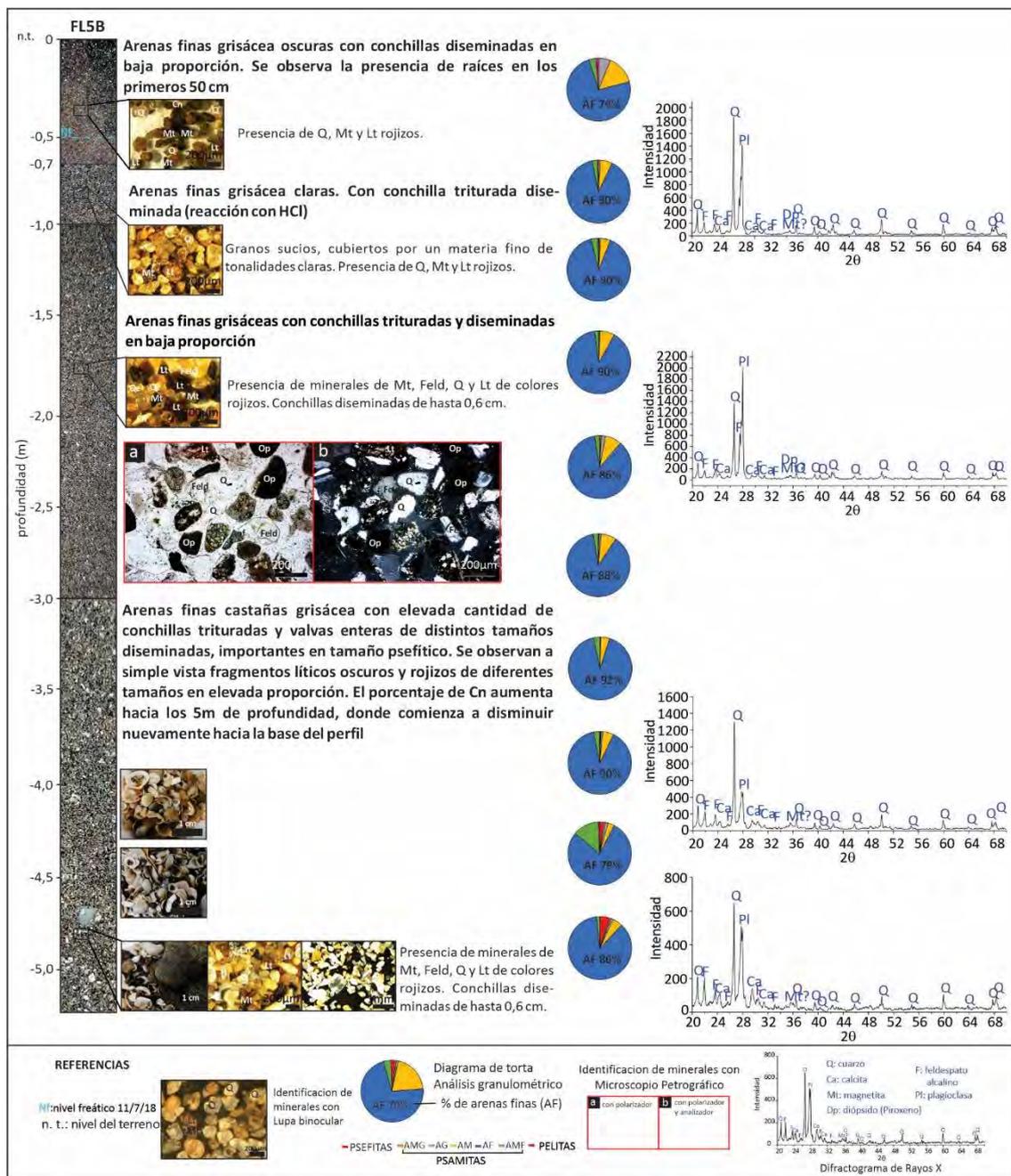


Figura 4.1.8. Freatímetros someros. Sector Central: Crestas de playas continentales. FL5B. Análisis textural y mineralógico con lupa binocular, microscopio petrográfico y Rayos x. Las columnas estratigráficas fueron armadas con fotos reales tomadas de los sedimentos recolectados de freatímetros secados a estufa.

4.1.3. Sector Norte

El estudio de detalle en el Sector Norte se ha realizado en la Reserva Natural Punta Rasa, debido a que, al encontrarse en la confluencia de dos sistemas ambientales, estuarial al oeste y marítimo al este, hace que presente una morfología marcadamente distinta a los descriptos anteriormente. Geomorfológicamente este sector está formado por espigas libres, las cuales representan los sucesivos avances de las mismas en dirección NO, y se encuentran bajo la influencia de la dinámica marina a través de canales de mareas que constituyen un factor importante en el intercambio de agua salada proveniente del este hacia el sector continental.

Pueden reconocerse, por un lado, una playa distal de aproximadamente 150 m de ancho, un médano costero de alturas no mayores a los 4,5 m s.n.m. y las sucesivas crestas de playas, correspondientes a la subunidad Cpi con alturas menores a los 4 m s.n.m. Esta última unidad presenta bajos intercretales ocupados tanto por canales de mareas activos como por ambientes de marismas. Dichos canales de mareas cortan y surcan las crestas de playa y se encuentran interconectados entre sí. Son amplios y someros, y se comportan como pequeñas lagunas que se orientan paralelas a la costa y que se conectan con el mar por medio de canales de mareas más angostos (Figura 4.1.9 A y B).

Puntualmente comprende el estudio de una laguna principal (Figura 4.1.9B y b) que se ubica en la parte central de la punta de las espigas arenosas y está conectada al mar a través de un estrecho canal de marea, el cual cruza y corta la playa, además de las crestas de playa, e ingresa a la laguna principal en su sector SE (Figura 4.1.9B y a). Dicha laguna tiene una longitud de 1 km y un ancho cercano de 0,15 km, con un alargamiento SE-NO coincidente con la deriva litoral que actualmente sigue acrecentando las espigas. En el extremo SE de la laguna, se desarrolla una pequeña laguna secundaria (Figura 4.1.9B, c y d) de 66 m de largo y 24 m de ancho, la cual en periodos de déficit hídrico y marea baja se encuentra seca, pudiendo corroborar esto mediante observación de campo.

En las imágenes satelitales, puede apreciarse una intercalación de lineamientos claros y oscuros. Los sectores oscuros corresponden a los bajos intermareales con anchos variables inferiores a 100 m y los claros a crestas de playa de mayor expresión topográfica, aunque más estrechos, con anchos variables e inferiores a 50 m. En el campo estos cambios en color responden a variaciones en la vegetación: en los bajos intermareales las especies dominantes son *Spartina densiflora sp.*, *Salicocornia ambigua sp.*, *Limonium brasiliense sp.*, *Sarcocornia sp.* y *Juncus acustus sp.*, correspondientes a un ambiente de marisma alta, la cual en eventos de mareas extrema es inundada (Figura 4.1.9B, a, b, c, d y e). En las crestas, sin embargo, se observa un predominio de cortaderas y *Juncus acustus sp.* (Figura 4.1.9 a y e).



Figura 4.1.9. A-TanDEM -X 90, B- imagen satelital del Sector Norte: Reserva Natural Punta Rasa. Trazado de Geomorfología y red de muestreo. Unidades geomorfológicas: Cpi: crestas de playa en zonas intermareales; Bi: bajos intermareales; LP: laguna principal; LS: laguna secundaria; Cm: canal de marea. a, b, c, d y e corresponden a fotografías tomadas en campo: a- Canal de marea con conexión al mar.; b- Laguna principal; c-Laguna secundaria; d- Bajos intermareales; e- Crestas de playas en zonas intermareales (Cpi)

4.1.3.1. Análisis litológico

Desde el punto de vista del análisis textural, los depósitos tanto de la cresta de playa como de los bajos intermareales, se componen mayoritariamente de arenas finas a medianas seguidas de arenas muy finas (Figura 4.1.10, 4.1.11 y 4.1.12).

El sector de bajos intermareales se caracteriza por presentar en promedio 99,1% de tamaño psamítico, un 0,5% tamaño psefíticos y 0,4% de pelitas. Con respecto a las coloraciones, estas varían de castañas a castañas grisáceas. Contienen conchillas diseminadas de tamaños variables, y en algunos casos (Lf1, Lf2, Lf4, Lf5, Lf6 y Lf8) aumentan de tamaño con la profundidad, siendo mayores a 2 mm a partir de los 0,5 m de profundidad. No obstante, en los pozos Lf3 y Lf4 (Figura 4.1.10), ubicados sobre el canal de marea y dentro de la laguna, respectivamente, no presentan conchillas mayores a 2mm, a pesar de que sí se encuentran diseminadas y trituradas con tamaños menores a 2mm en toda la columna. Aquí el porcentaje de arena media es mayor y el de arena fina menor, en comparación al resto de los freáticos analizados. En cuanto a la mineralogía, se destaca la presencia de cuarzo, feldespatos, magnetita, fragmentos líticos rojizos y oscuros, así como de la presencia de fragmentos de conchillas.

En el caso de las crestas de playa, (Lf7) (Figura 4.1.12), se caracterizan por presentar en promedio mayor contenido de arenas (99,6%), seguido de pelitas (0,4%) y psefitas subordinadas (menores a 0,01%). Dentro de las arenas dominan las arenas finas, seguidas de arenas medias de formas redondeadas a subredondeadas. Las conchillas se encuentran diseminadas en toda la columna y el tamaño es menor a 2mm. Presenta pequeños nódulos de magnetita de alrededor de 1 mm de diámetro en muy baja proporción y en forma diseminada. Con respecto a la mineralogía, a partir de la observación con lupa binocular y Difracción de Rayos X, se determinó la presencia de cuarzo, feldespatos, magnetita, fragmentos líticos rojizos y oscuros, y fragmentos de conchillas.

Por otra parte, en el campo se observó que, tanto la laguna principal como la secundaria presentan una fina capa de arcilla en superficie (Figura 4.1.13), destacándose también la presencia de eflorescencias salinas en superficie en los bajos intermareales en periodos de déficit hídrico (Figura 4.1.14).

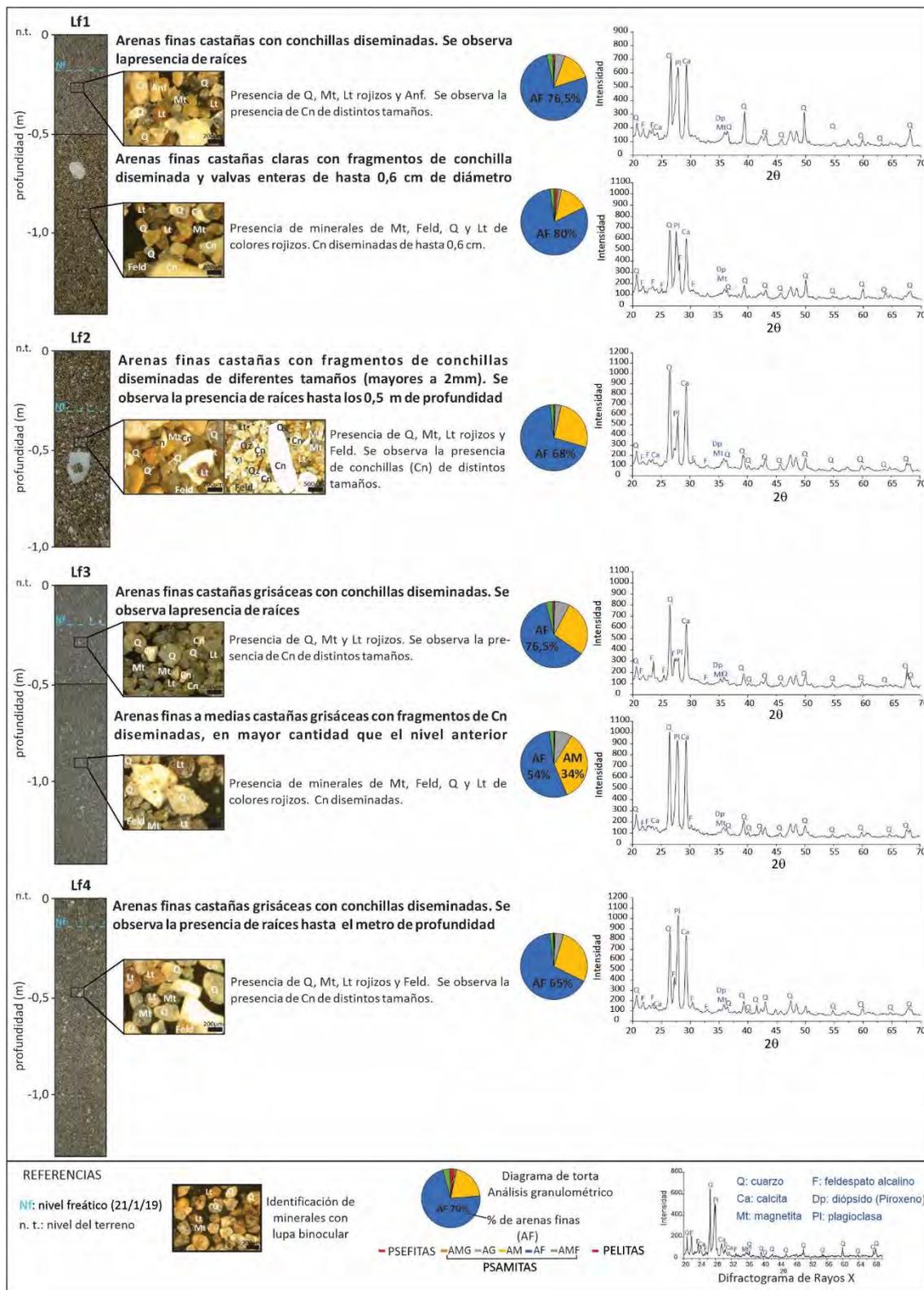


Figura 4.1.10. Freatímetros someros. Sector Norte. Lf1, Lf2, Lf3, Lf4. Análisis textural y mineralógico con lupa binocular y Rayos X. Las columnas estratigráficas fueron armadas con fotos reales tomadas de los sedimentos recolectados de freatímetros secados a estufa.

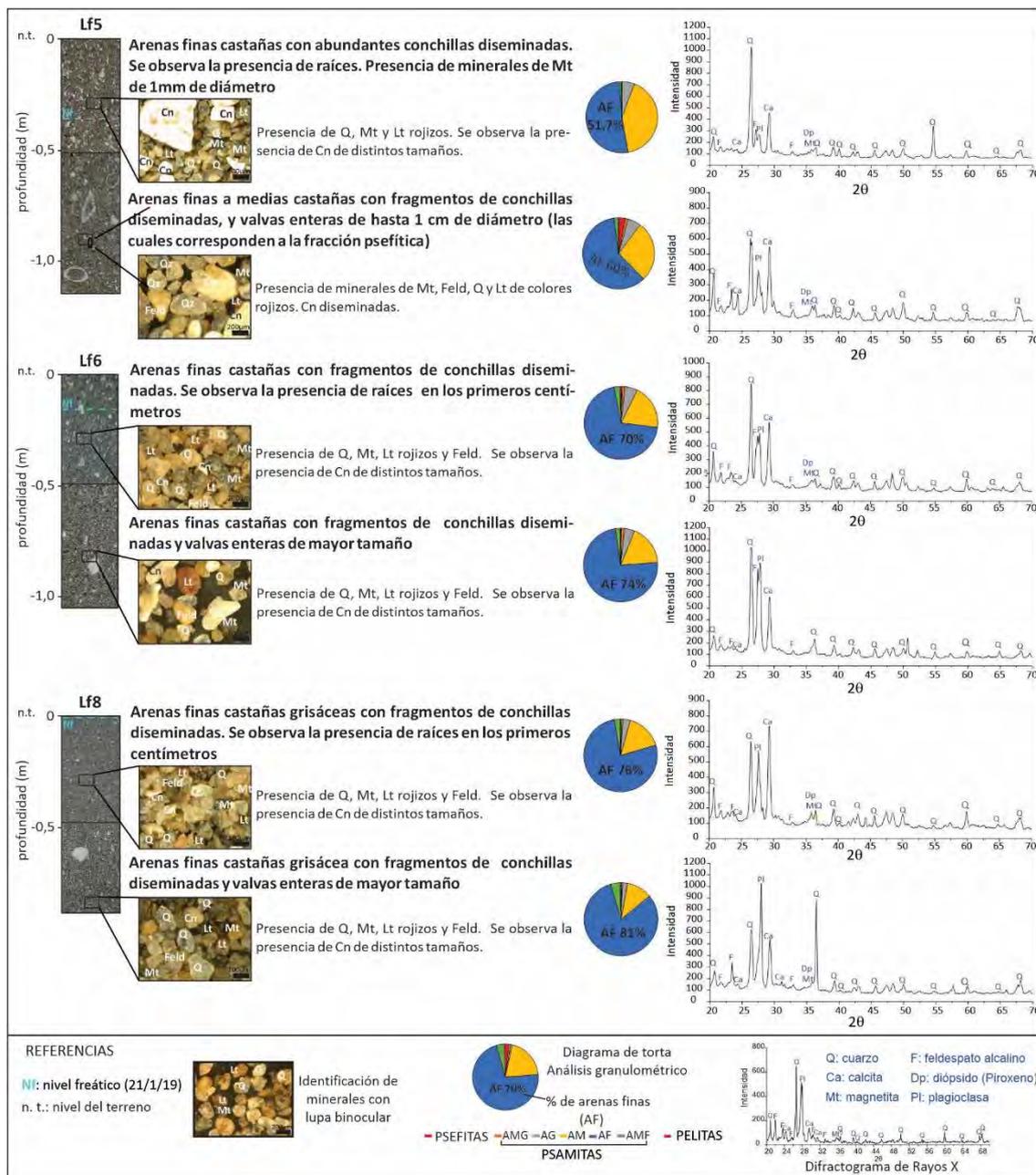


Figura. 4.1.11. Freatímetros someros. Sector Norte. Bi: Lf5, Lf6 y Lf8. Análisis textural y mineralógico con lupa binocular y Rayos X. Las columnas estratigráficas fueron armadas con fotos reales tomadas de los sedimentos recolectados de freatímetros secados a estufa.

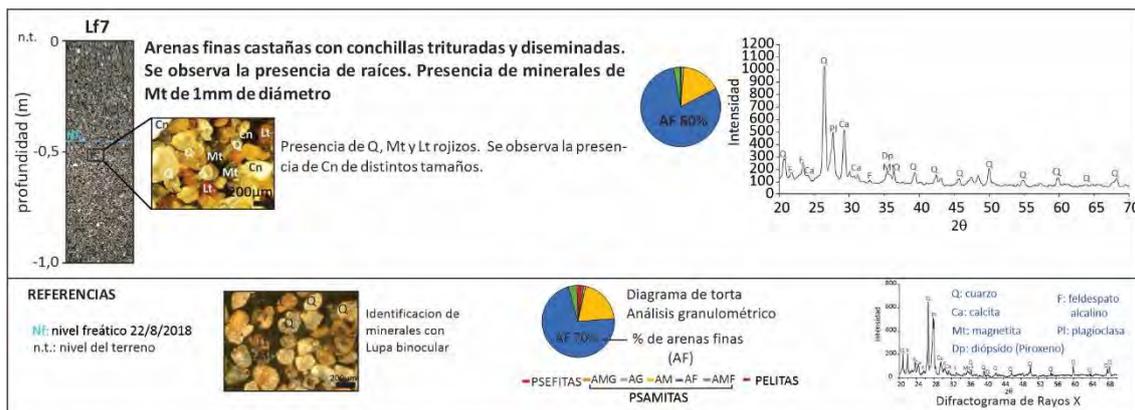
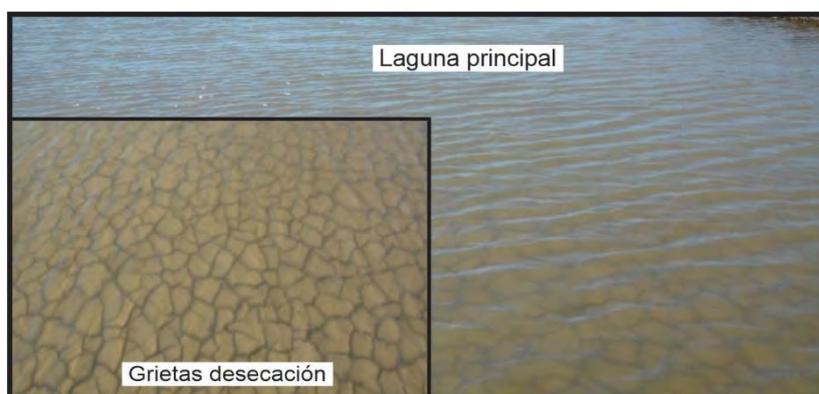
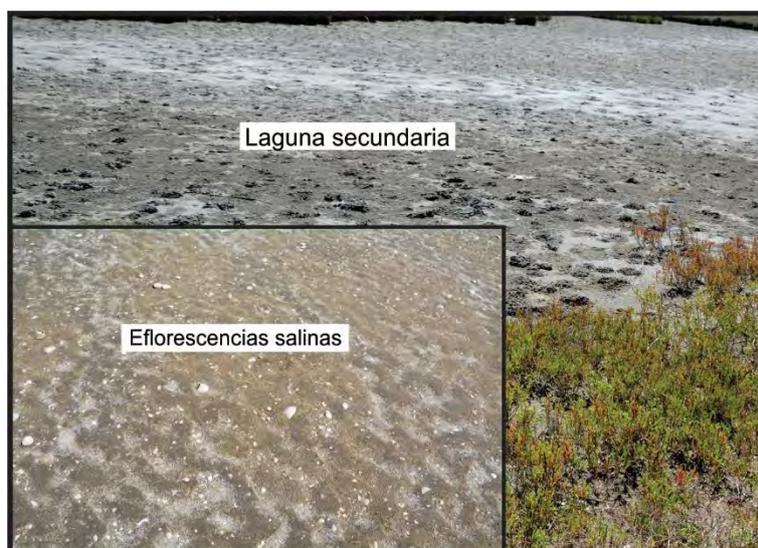


Figura. 4.1.12. Freatímetros someros. Sector Norte. Cpi Lf7. Análisis textural y mineralógico con lupa binocular y Rayos X. Las columnas estratigráficas fueron armadas con fotos reales tomadas de los sedimentos recolectados de freatímetros secados a estufa.



4.1.13. Fotografía tomada en campo. Corresponde a grietas de desecación sumergidas en la laguna principal, lo que evidencia presencia de arcillas expansivas.



4.1.14. Fotografía tomada en campo. Corresponde a eflorescencias salinas en superficies de los bajos intermareales y laguna secundaria, en periodos de déficit hídrico.

4.2. ANÁLISIS HIDROCLIMÁTICO

4.2.1. Selección de Estaciones Meteorológicas

Como se ha mencionado en el Capítulo 2.2 correspondiente a Metodología, a partir de la recopilación de registros de precipitaciones y temperaturas otorgados por el SMN y la Sociedad Rural de General Lavalle, se han evaluado seis estaciones. De estas estaciones, cuatro corresponden al SMN (Estación Dolores Aero, Estación Santa Teresita Aero, Estación Ezeiza Aero y Estación Punta Indio BAPI) y dos pluviómetros a la Sociedad Rural de General Lavalle (Pluviómetro Estancia La Esperanza y Pluviómetro Estancia San Bernardo - Los Ñandúces) (Figura 4.2.1).



Figura 4.2.1. Ubicación de Estaciones Meteorológicas pertenecientes al SMN (indicadas en círculos blancos) y pluviómetros de estancias privadas (indicadas en círculos rojos).

Para el análisis de las precipitaciones, la evaluación de las estaciones en función de la representatividad y extensión permitió seleccionar a las estaciones Dolores Aero y los pluviómetros de las Estancias San Bernardo y La Esperanza. La Estación Dolores Aero cuenta con datos de precipitaciones anuales acumuladas desde 1911 al 2019, la Estancia San Bernardo con registros históricos de precipitaciones anuales acumuladas desde 1931 al 2003 y la Estancia La Esperanza con registros completos de precipitaciones medias mensuales desde el año 1887-2019, siendo así esta última la más extensa de las tres.

Con respecto a la Estación Santa Teresita Aero, pese a su cercanía a la zona de estudio, no se ha tenido en cuenta ya que posee una serie interrumpida de datos en el tiempo y ha dejado de funcionar en el año 2007, por lo que no mostraría la tendencia general de las precipitaciones.

Una vez seleccionadas dichas estaciones, se procedió a analizar su garantía a través de un análisis de doble masa o doble acumulación (Figura 4.4.2). Los resultados obtenidos de dicho análisis realizado para un periodo de 49 años de registros continuos de precipitaciones anuales entre la Estación Dolores Aero (estación meteorológica oficial del SMN) y los pluviómetros de ambas estancias, evidencian que los registros son similares y pueden ser utilizados para la

caracterización climática, ya que las precipitaciones acumuladas se alinean en una recta 1:1 (Figura 4.2.2).

Con respecto a las temperaturas, se han tomado las estaciones Dolores Aero, Punta Indio (BAPI) y Ezeiza Aero (Figura 4.2.1), debido a que los registros más cercanos a la zona de estudio son escasos y discontinuos (Estación Santa Teresita). Se utilizaron registros históricos de Dolores Aero, Punta Indio (BAPI) y Ezeiza Aero correspondientes a series modulares mensuales para los lapsos 1941-1950, 1951-1960, 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990. Además, la Estación Dolores cuenta, con registros actuales de temperaturas diarias desde el año 2012 hasta la actualidad.

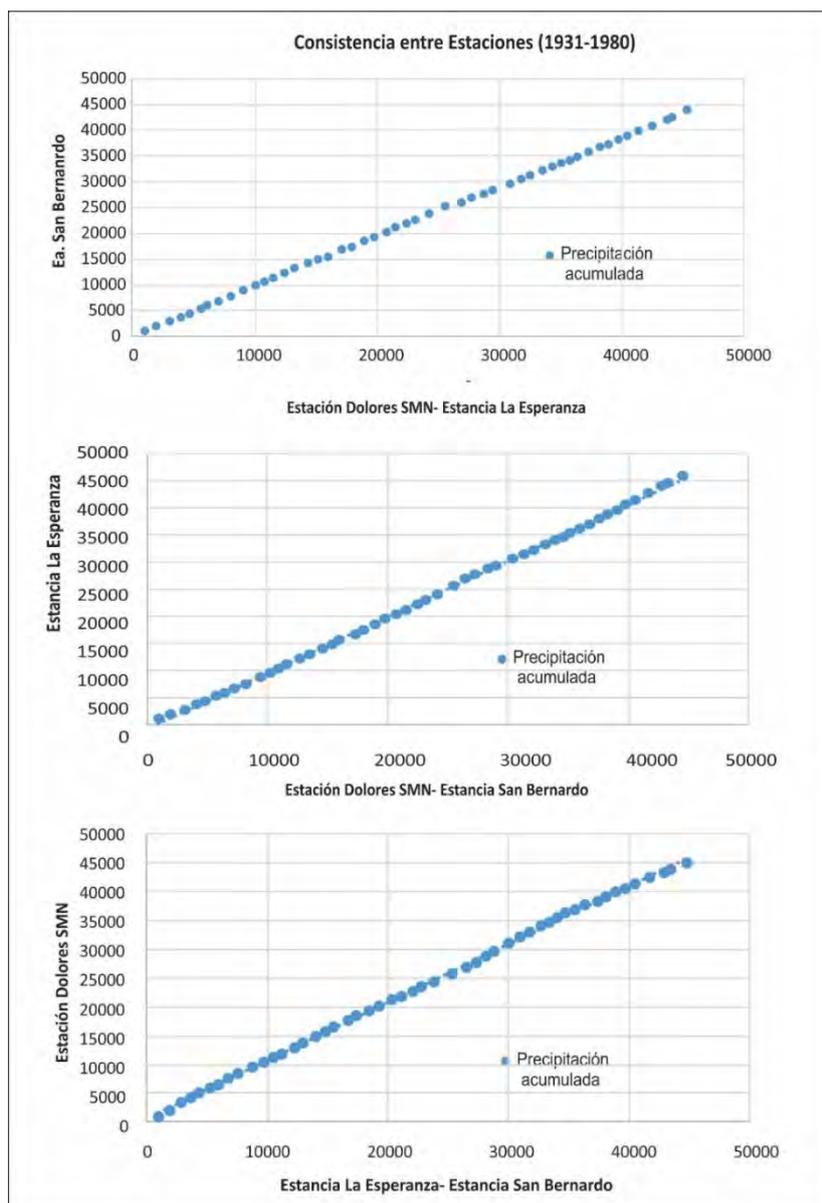


Figura 4.2.2 Gráfico de doble masa. ● Representa las precipitaciones acumuladas anuales.

4.2.2. Análisis de precipitaciones

Para el análisis de las precipitaciones, se realizó un pluviograma integrado de las estaciones seleccionadas con el fin de comparar las variaciones entre las estaciones y la distribución de las precipitaciones en el tiempo (Figura 4.2.3). Dicho gráfico muestra, por un lado, que los registros

de precipitaciones son relativamente homogéneos entre las estaciones y por otro, que existe una gran variación interanual, con medias anuales que fluctúan entre 400 y 1600 mm.

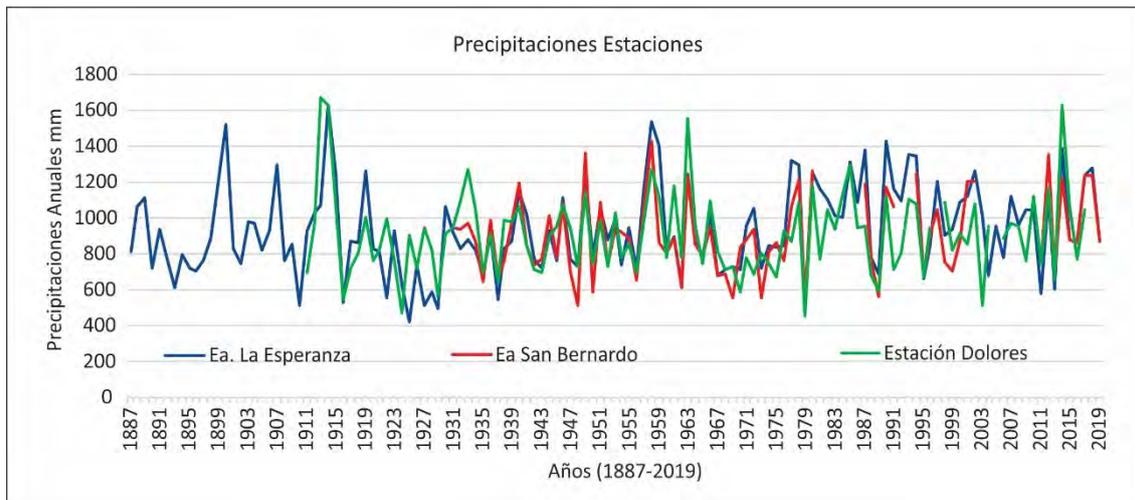


Figura 4.2.3. Pluviograma Integrado de las estaciones analizadas en el periodo 1887-2019.

A su vez, de las estaciones mencionadas, se seleccionó la estación Estancia La Esperanza para un análisis más riguroso de las precipitaciones debido a que a través del análisis de doble masa, se verificó su validez, ponderando además que presenta un registro continuo y extenso de los datos en la zona de estudio. Del pluviograma de la Figura 4.2.4 se desprende que la precipitación promedio registrada en la serie de datos de 1887-2019 para la zona es de 935 mm. La precipitación acumulada anual mínima fue de 421 mm en el año 1925, y la máxima de 1634 mm en el año 1914. El análisis de las precipitaciones anuales del período evidencia una tendencia positiva, indicando un incremento de las precipitaciones hacia la actualidad (Figura 4.2.4).

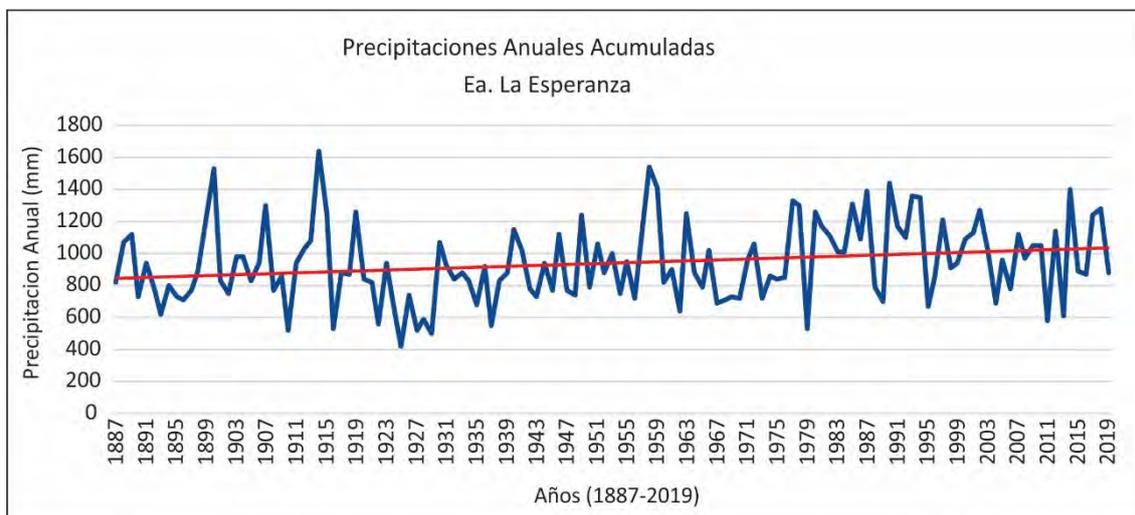


Figura 4.2.4. Pluviograma Ea. La Esperanza. Precipitaciones anuales acumuladas. En rojo se indica la línea de tendencia de la serie.

Al integrar al pluviograma las medias móviles de 5 y 10 años se puede observar la alternancia de periodos húmedos y secos a lo largo del registro (Figura 4.2.5).

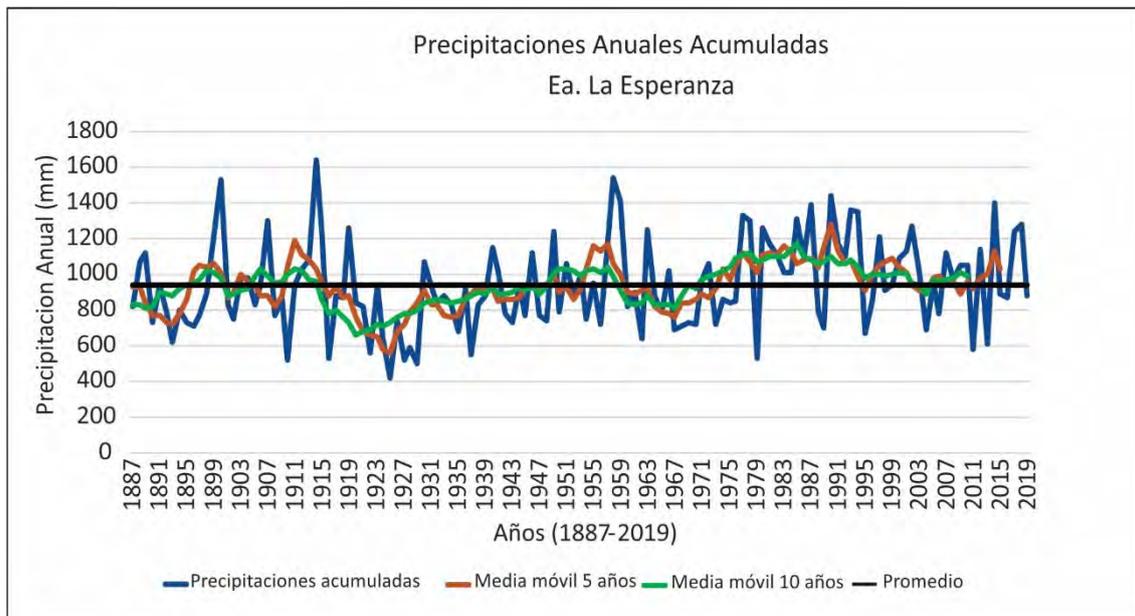


Figura 4.2.5. Pluviograma integrando las medias móviles de 5 y 10 años de la estación Estancia La Esperanza.

De la alternancia entre los periodos húmedos y secos, respecto a la media histórica, pueden destacarse tres periodos secos importantes correspondientes a las series de datos 1887-1895, 1915-1951 y 1959-1971, encontrándose los mismos por debajo del promedio de las precipitaciones. La situación inversa ocurre durante los periodos húmedos, donde los valores de precipitaciones se encuentran por encima del valor promedio. Dichos periodos corresponden a los años 1895-1915, 1951-1959 y por último desde 1971 a la actualidad. Puede observarse como los años en los cuales se realizaron los muestreos para esta tesis (años 2017, 2018 y 2019), a pesar de encontrarse en un periodo húmedo, sus valores de medias móviles indican que están muy cercanos al valor medio de las precipitaciones a lo largo del registro.

Cabe destacar que los valores de precipitaciones que se encuentran por encima del promedio histórico podrían representar situaciones de infiltración y posterior recarga del acuífero freático.

Con respecto a la distribución intranual de las precipitaciones correspondiente al periodo 1956-2019 de la Ea. La Esperanza (Figura 4.2.6), puede observarse que desde los meses de junio a septiembre se registran las menores precipitaciones, definiendo un periodo más seco, mientras que, desde octubre a mayo se observa un aumento de las precipitaciones siendo los meses más húmedos. Dentro del periodo húmedo el mes más lluvioso es enero con 102,4 mm, en tanto que dentro del periodo seco el mes menos lluvioso es junio con 65,1 mm.

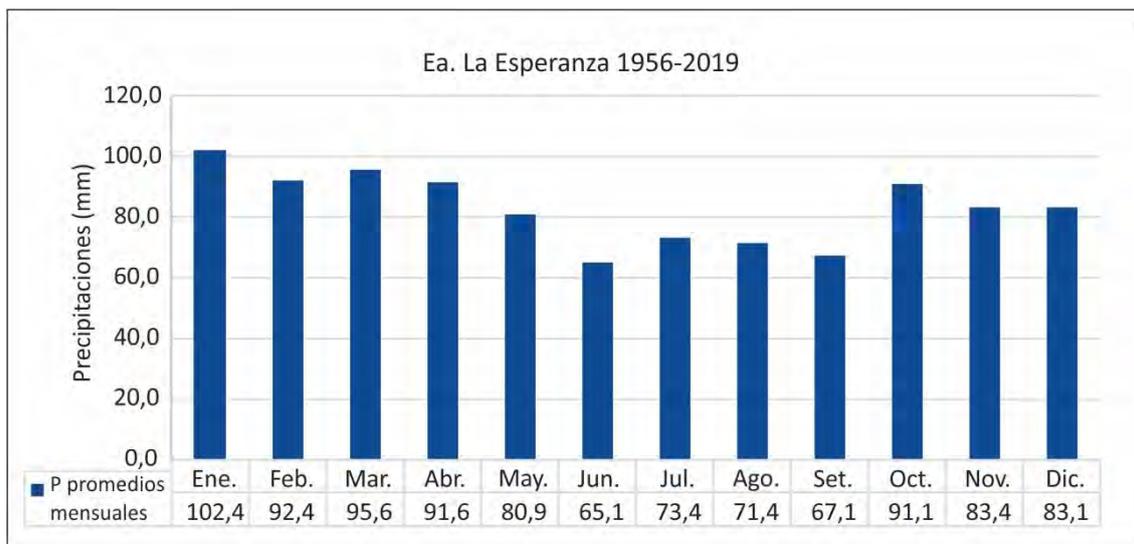


Figura 4.2.6. Distribución promedio mensual de las precipitaciones Ea. La Esperanza para el periodo 1956-2019.

4.2.3. Análisis de temperaturas

Las estaciones seleccionadas fueron utilizadas para el análisis de las temperaturas históricas correspondiente al periodo 1961-1990 y fueron comparadas a partir de la distribución intranual de las mismas en la Figura 4.2.7.

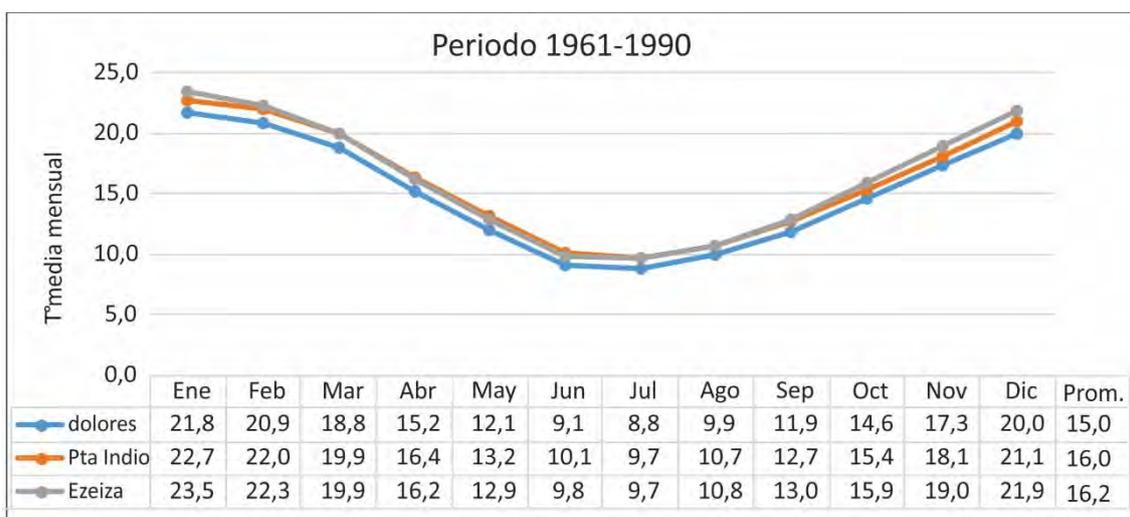


Figura 4.2.7. Distribución de temperaturas medias mensuales históricas correspondientes al periodo 1961-1990 en la estación Dolores Aero, Punta Indio (BAPI) y Ezeiza Aero.

Los valores de temperaturas indican para la Estación Dolores Aero un promedio anual de 15°C, en Punta Indio (BAPI) de 16°C, mientras que en Ezeiza Aero es de 16,2°C. De la Figura 4.2.7 se depende que, a pesar de las pequeñas variaciones en la media anual, la distribución de las temperaturas es similar entre las tres estaciones. De esta manera, se puede definir un periodo frío entre mayo y octubre con valores inferiores a la media anual y un periodo más cálido entre noviembre y abril con valores superiores a la misma. Dentro del periodo cálido, los valores promedio máximos para las tres estaciones ocurren en el mes de enero. Por su parte, dentro de los meses más fríos, los promedios mínimos se observan en el mes de julio (Figura 4.2.7).

Dada la similitud y homogeneidad observada en las tres estaciones, se seleccionó a la Estación Dolores para realizar los balances hidrológicos al momento del muestreo ya que dicha estación

se encuentra cercana al área de estudio. Así como la Estación Ezeiza ha sido seleccionada para la realización de los balances hídricos históricos, debido a la extensión y continuidad de los datos en el registro.

4.2.4. Evapotranspiración potencial (ETP)

La evapotranspiración potencial (ETP), calculada con el método de Thornthwaite y Mather (1957) para el período 1956-2019, arrojó un valor anual de 820,6 mm. Con respecto a la distribución mensual, la ETP es máxima en el mes de enero con un promedio de 136 mm y mínima en el mes de junio con un valor promedio de 21,4 mm. El gráfico de la Figura 4.2.8 representa los valores promedios anuales de precipitaciones (P), Evapotranspiración Potencial (ETP) y las Temperaturas medias mensuales (T°C) para el periodo analizado.

De acuerdo a la gráfica, durante los meses de noviembre a marzo la evapotranspiración potencial supera a las precipitaciones, definiendo así un periodo de déficit hídrico coincidentes con un aumento en las temperaturas, las cuales incrementan durante los meses de primavera y verano. Mientras que, en el resto del año, la precipitación supera a la evapotranspiración potencial, con descensos marcados de la temperatura principalmente durante los meses de otoño e invierno, siendo un periodo de exceso hídrico.

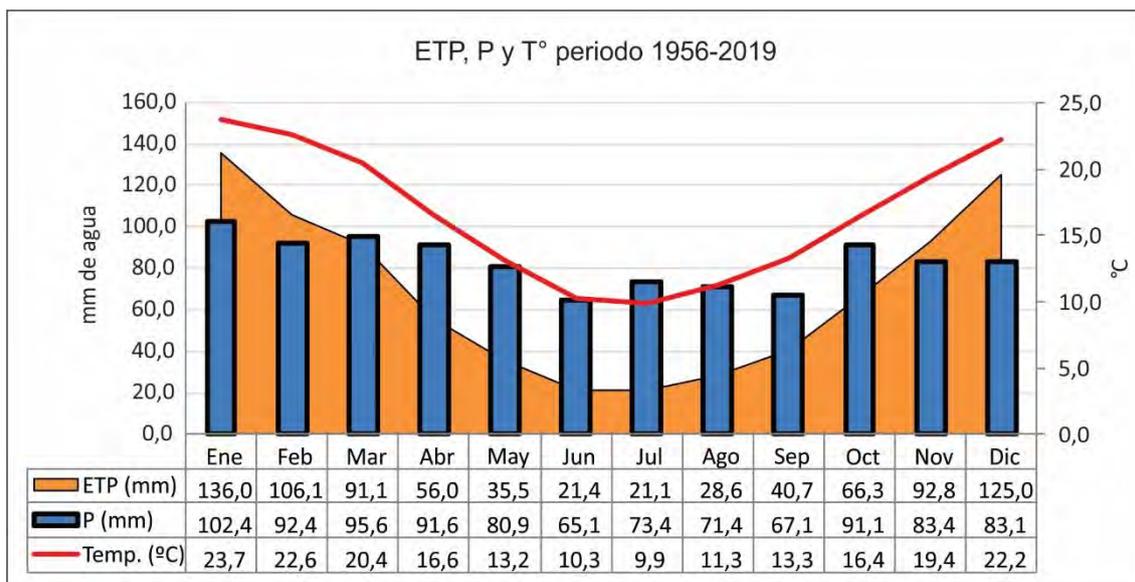


Figura 4.2.8. Representación de las variables P, T y ETP para el período 1956-2019.

4.2.5. Clasificación climática

Como se detalló en el apartado de Metodología se utilizó la clasificación climática Thornthwaite (1948). Dicha clasificación utiliza la variable ETP anual calculada previamente, así como los periodos de déficit y excesos hídricos definidos para el área de estudio.

Según esta clasificación el clima de la región es de tipo húmedo B₁ (con un Índice hídrico positivo) mientras que, la eficiencia térmica se clasifica como mesotermal (B₂) debido a que la ETP anual promedio es de 820,6 mm. Con respecto a la variación estacional de la eficiencia hídrica, se lo clasifica como r, el cual indica que presenta un bajo a nulo Índice de aridez. Por último, según la concentración estival de la eficacia térmica es menor al 48% (a'), resultando en un clima: **B₁B₂ra'**.

4.2.6. Balances hídricos

A partir de la información obtenida anteriormente se procedió a realizar los balances hídricos, con el objetivo de cuantificar los excesos de agua (que resultarán en una eventual recarga o infiltración de agua en el acuífero freático).

Para ello, es necesario estimar la reserva de agua útil máxima del suelo (RAU) en función de diversos factores. Según los parámetros texturales definidos previamente, arenas finas, le corresponde una reserva de agua útil de 6,2% y una densidad aparente promedio de 1,55 g/cm³. Asimismo, se consideró la profundidad radicular de 20 cm (aproximadamente). De esta manera, la RAU estimada para las unidades geomorfológicas corresponde a 19,2 mm.

El balance hídrico histórico mensual promedio para el periodo 1956-2019, evidencia que las precipitaciones medias anuales son de 997mm/año y las de ETR de 741mm/año. Los excesos ocurren de abril a octubre siendo de 256 mm/año y los déficits promedio anuales totalizan 79 mm/año. El mes más lluvioso es enero con 102,4mm y el menos lluvioso es junio con 65,1 mm. No obstante, a pesar de que las menores precipitaciones se registran principalmente de abril a octubre, es aquí donde se dan los excesos de agua, debido a que ocurren las menores ETR (Figura 4.2.9a) y los déficits de agua se generan de noviembre a marzo.

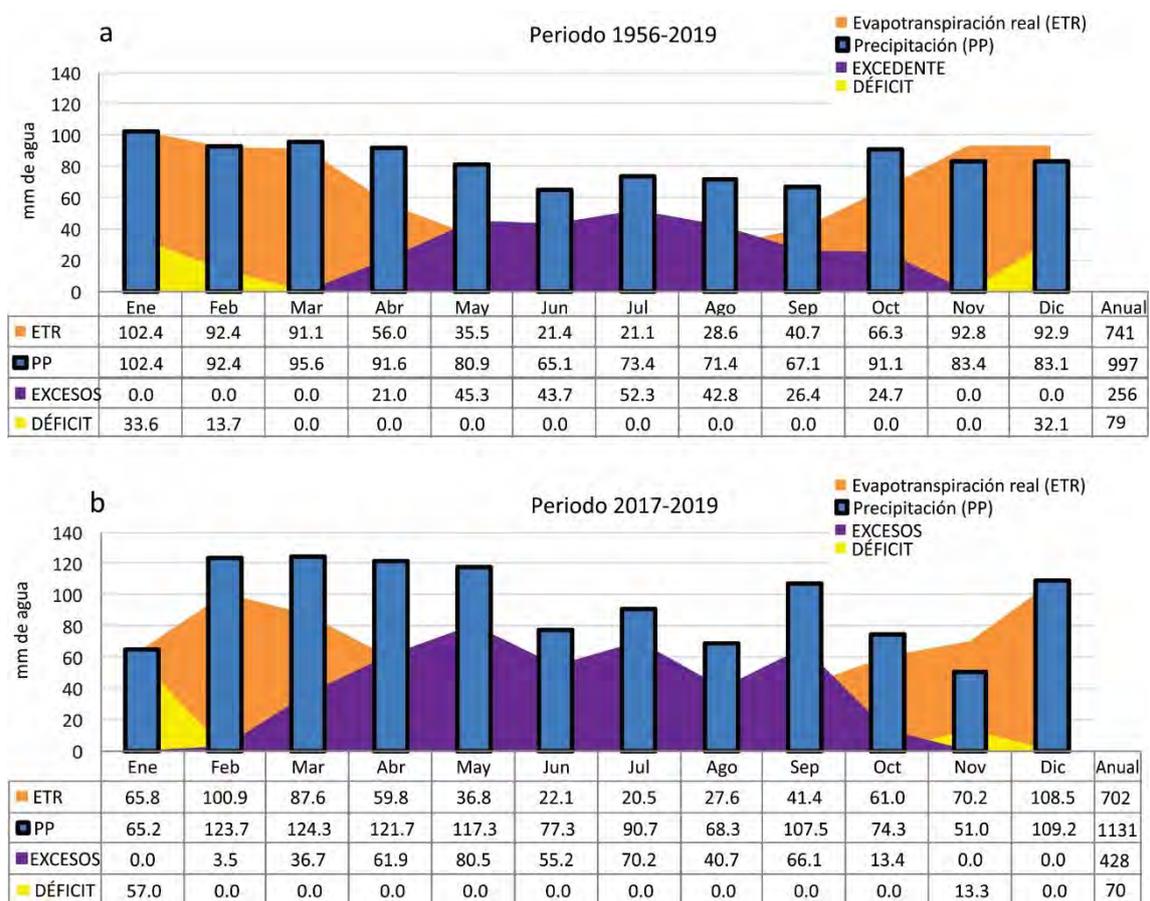


Figura 4.2.9. Balances hídricos mensuales promedios para a. Periodo 1956-2019 y b. Periodo 2017-2019.

El balance hídrico mensual promedio realizado para el periodo 2017-2019, correspondiente al periodo de toma de muestras de agua y mediciones de niveles freáticos, difiere con el periodo antes analizado dado que, la precipitación anual promedio es superior, con 1131 mm/año. La ETR en cambio, es menor, con valores de 702 mm/año. Lo que resulta en excesos promedio anuales mayores de 428 mm/año, reflejados de marzo a octubre (Figura 4.2.9b). Los déficits, por

su parte, son levemente inferiores con un promedio anual de 70 mm/año y se dan de noviembre a febrero.

Por otro lado, los balances diarios para los años 2017, 2018 y 2019, se han realizado con la finalidad de evaluar la situación hídrica (excesos/déficits) durante los relevamientos de campo. Con tal motivo, es que se describirán las características acordes a las fechas de monitoreo de agua y luego serán relacionados posteriormente con la hidrodinámica e hidroquímica de las zonas de estudio.

Los monitoreos realizados durante noviembre-17, marzo-18 y enero-19, corresponden a periodos de déficit de agua, donde las precipitaciones no generaron disponibilidad de agua en el suelo, haciendo que los excesos hídricos diarios sean nulos (Figura 4.2.10a, b y d). Por el contrario, los monitoreos correspondientes a agosto-18 y junio-19, donde las precipitaciones contribuyeron significativamente a las reservas de agua en el suelo que, combinados con las bajas evapotranspiraciones reales diarias ocasionaron periodos de excesos hídricos (Figura 4.2.10c y e).

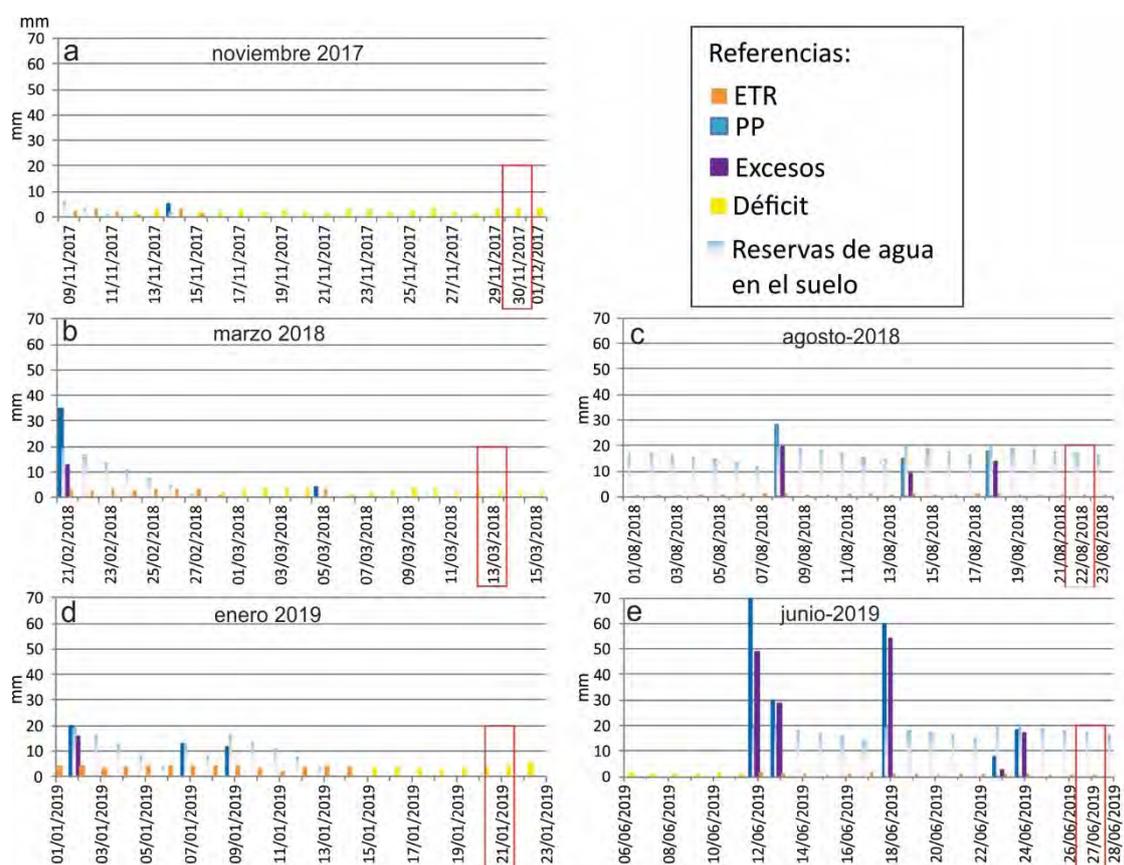


Figura 4.2.10. Balances hídricos diarios correspondientes a los periodos de monitoreo en campo, a- noviembre-17, b-marzo-18, c-agosto-18, d- enero-19 y e-junio-19. En rojo se destacan las fechas de monitoreo a fin de visualizar la relación entre el muestreo y los periodos de déficits y excesos.

4.3. RÉGIMEN MAREAL

El registro del mareógrafo muestra que los niveles fluctuaron entre -0,32 y 2,80 m s.n.m. en el periodo estudiado con un régimen micromareal semidiurno con pleamares de sicigia que alcanzan los 2 m s.n.m. y eventos de pleamares extraordinarias que sobrepasan los 2,4 m s.n.m

(Figura 4.3.1A). Durante las tareas de monitoreo, la máxima altura de las mareas fue registrada en noviembre-17, 6 días antes de realizar el monitoreo en campo (Figura 4.3.1B y a). En el resto de los monitoreos, las pleamares fueron menores a 1,5 m s.n.m al momento de cada muestreo y registro de nivel freático (Figura 4.3.1B, b, c, d y e). Sin embargo, durante 15 días previo a la toma de muestra de agua/registro de nivel freático se pueden destacar eventos que pudieron llegar a los 2 m s.n.m. (Figura 4.3.1.B, b, c, d, e).

En enero 2019 se pudo observar en campo, un día antes de la medición de niveles freáticos, (Figura 4.3.1.B.d) que con una pleamar de 2 m s.n.m. el agua ingresa por los canales de marea e inunda la laguna, así como los bajos intermareales. De ese modo se tomará de aquí en adelante ese valor como referencia para el ingreso mareal.

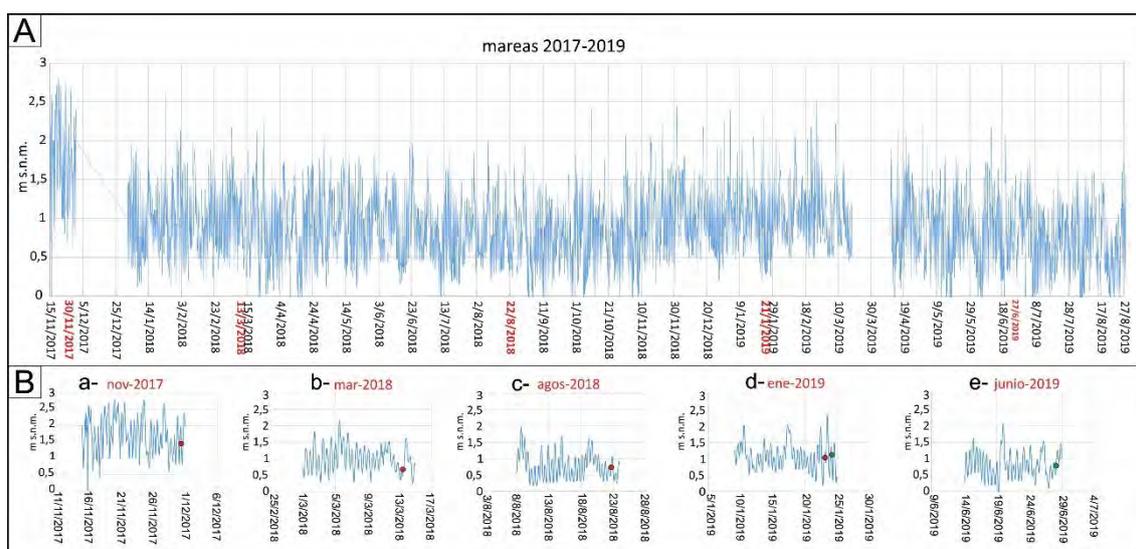


Figura 4.3.1. Registro de mareas correspondiente al mareógrafo de San Clemente del Tuyú del Servicio de Hidrografía Naval. A- Registro 2017-2019 y B- Refiere a cada registro correspondiente a los 15 días previos a las fechas de monitoreo realizadas en campo, siendo a- noviembre-17, b- marzo-18, c- agosto-18, d- enero-19 y e- junio-19. Los círculos representan el día y la hora en que se realizó el monitoreo, donde los rojos corresponden a la toma de muestra de agua y los verdes la medición de niveles freáticos.

4.4. ANÁLISIS HIDRODINÁMICO

En el presente apartado se realizará el análisis del comportamiento hidrodinámico del área de estudio y la evaluación de las características del flujo subterráneo en condiciones de excesos y déficit hídrico y su relación tanto con la geomorfología como con la litología detalladas en el apartado 4.1 para los Sectores Sur, Central y Norte. Cabe destacar que, si bien las geoformas estudiadas funcionan como sitios de recarga a lo largo de toda su superficie, en cada caso se tratarán las características hidrodinámicas a nivel local.

Para ello se utilizarán las mediciones en campo de niveles freáticos, a partir de los cuales se realizaron los perfiles de flujo para cada área, pudiéndose definir las características locales de recarga y descarga. A su vez, las fluctuaciones de los niveles freáticos fueron comparadas con las precipitaciones y excesos hídricos. Sin embargo, en el Sector Norte, debido que presenta influencia mareal, también se ha evaluado el comportamiento hidrodinámico en relación a las fluctuaciones mareales.

4.4.1. Sector Sur

El monitoreo realizado en enero-19, correspondiente a un periodo de déficit hídrico (Figura 4.2.12c), muestra que los niveles freáticos medidos en el área de estudio se encuentran entre 4,4 y 5,9 m s.n.m. Por un lado, en M-III los valores más elevados del nivel freático se encuentran en la zona central de la misma y los más bajos hacia el este y oeste en el límite con las Cpc, definiendo así una divisoria de aguas coincidente con las cotas topográficas más elevadas en la zona central.

Por otro lado, en M-II, el valor más alto se registra hacia el oeste, en el pozo Pv7 (5,5 m s.n.m.) y hacia el sur de la transecta E-O. Mientras que los mínimos se detectan hacia el norte de dicha transecta en Pv6 y Pv5 con una altura de 5 y 5,1 m s.n.m. (Figura 4.4.1a)

De esta manera, a pesar de que la recarga ocurre de manera regional sobre ambas geoformas, por tratarse de unidades arenosas, las alturas freáticas definen el flujo desde las zonas topográficamente más altas hacia las más bajas (Figura 4.4.1b), copiando la topografía del terreno. Asimismo, los niveles freáticos con mayor profundidad se asocian a topografías más elevadas, como ocurre en M-III, siendo más someros en M-II (Figura 4.4.1b).

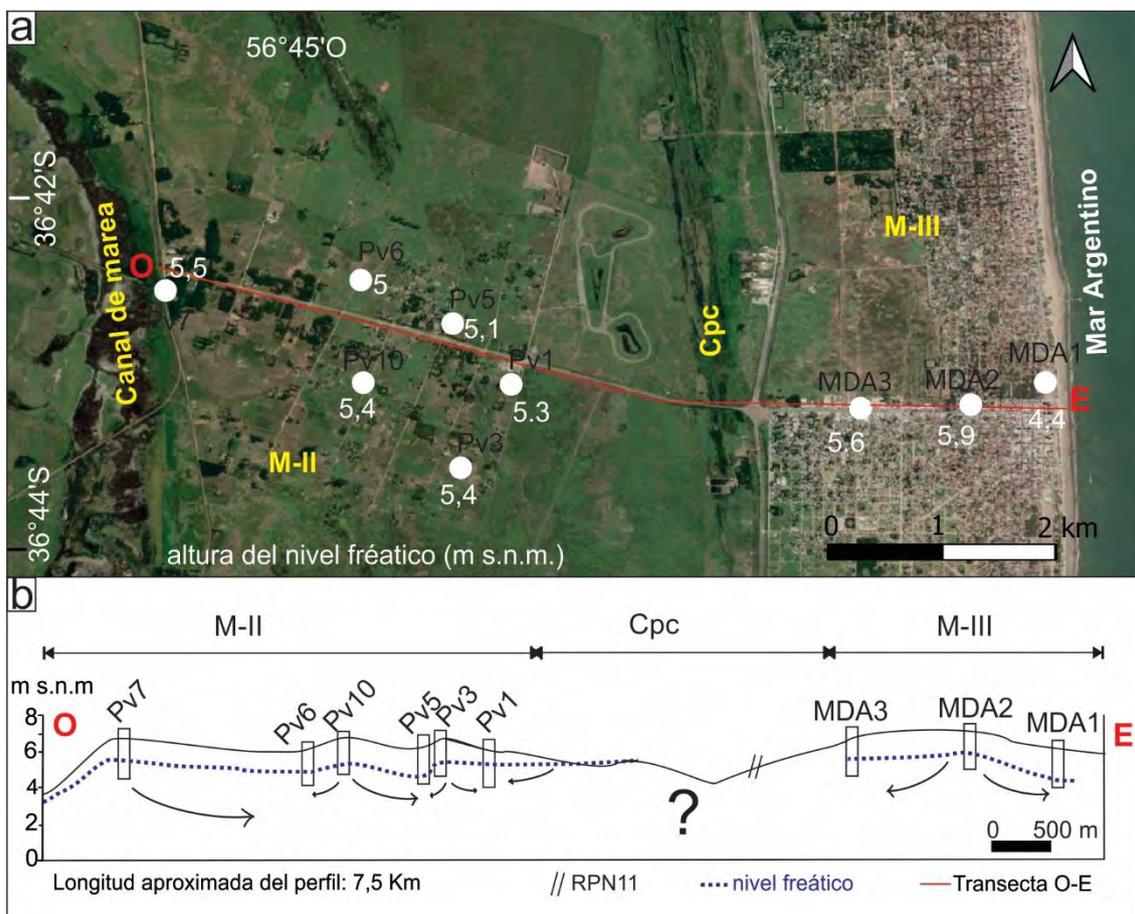


Figura 4.4.1. Hidrodinámica del Sector Sur en periodo de déficit hídrico (enero-19). a- Mapa de alturas de niveles freáticos y b- Perfil esquemático del flujo subterráneo. M-III: médanos sobreimpuestos al cordón costero actual; Cpc: crestas de playa en zona continental; M-II: médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales.

Con respecto al monitoreo realizado en condiciones de exceso hídrico (junio-19) (Figura 4.2.12c), las mediciones en todos los pozos, muestran un incremento de los niveles alcanzando valores de entre 5,4 y 6,2 m s.n.m. manteniendo las relaciones de flujo desde las zonas topográficamente más altas hacia las más bajas al igual que ocurre en el periodo de déficit

hídrico (Figura 4.4.2a y b). El pozo MDA2, no obstante, se aparta de esta tendencia, dado que evidenció un descenso en el nivel freático, haciendo que se modifique la dirección del flujo local, respecto a enero-19, entre los pozos MDA3 y MDA2 ocurriendo el flujo desde la zona más baja hacia la más alta (Figura 4.4.2a y b).

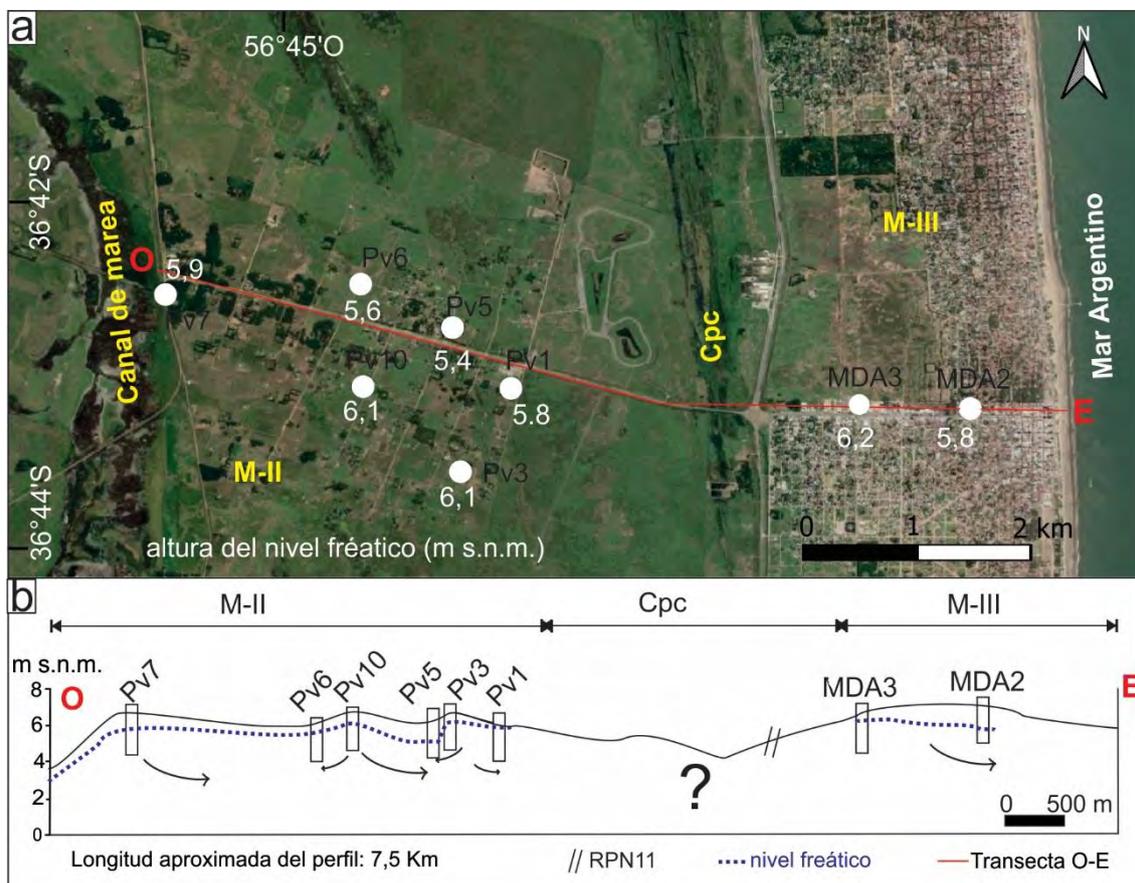


Figura 4.4.2. Hidrodinámica del Sector Sur en periodo de exceso hídrico (junio-19). a- Mapa de alturas de niveles freáticos y b- Perfil esquemático del flujo subterráneo. M-III: médanos sobreimpuestos al cordón costero actual; Cpc: crestas de playa en zona continental; M-II: médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales.

Por otro lado, la mayor variación del nivel freático se da en el sector central de M-II con valores de 0,7 m para los periodos considerados y la menor variación se da en el sector central de M-III (MDA2) donde se registra un descenso del nivel freático en el periodo de exceso respecto al déficit (Figura 4.4.3, Tabla 4.4.1). No obstante, las variaciones medias en ambas geoformas son similares, de 0,3 m en M-III y 0,5 m en M-II (4.4.1).



Figura 4.4.3. Mapa de variación de los niveles freáticos entre los periodos de exceso y déficit hídrico, correspondiente al Sector Sur. M-III: médanos sobreimpuestos al cordón costero actual; Cpc: crestas de playa en zona continental; M-II: médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales.

Geoforma	Máximo (m s.n.m)	Mínimo (m s.n.m)	Promedio (m s.n.m)	Variación media (m)
M-III	6,2	4,4	5,6	0,3
M-II	6,2	5	5,6	0,5

Tabla 4.4.1. Tabla valores máximos, mínimos, promedios y oscilación media del nivel freático en las geoformas evaluadas en el Sector Sur entre los periodos de déficit y exceso hídrico. M-III: médanos sobreimpuestos al cordón costero actual; M-II: médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales.

A modo de síntesis de lo expuesto hasta aquí, puede mencionarse que:

El análisis de los excesos hídricos y su relación con las oscilaciones freáticas permitió identificar a la zona como un área de recarga regional, donde los niveles aumentan durante los periodos de excesos hídricos. A su vez existe una tendencia general del flujo local desde los sitios topográficamente más elevadas hacia las zonas deprimidas. Siendo una excepción la zona central de M-III donde se identifica un descenso de los niveles en los periodos de exceso, cambiando la dirección del flujo local desde las áreas topográficamente más bajas hacia las más altas, lo que podría estar asociado al consumo de agua subterránea, debido al emplazamiento de la localidad de Mar de Ajó.

4.4.2. Sector Central

En el monitoreo efectuado durante un periodo de déficit hídrico (enero-2019) (Figura 4.2.12c) los niveles freáticos se encontraron entre 2,2 y 5,2 m s.n.m. En el sector correspondiente a M-III los valores más elevados se registran en la zona central de la misma (5,2 m s.n.m.), los cuales disminuyen hacia el este y oeste, alcanzando valores de 2,5 m s.n.m. en ambas direcciones (Figura 4.4.4a). Ello define una divisoria de aguas local en el centro de M-III, que coincide con las cotas topográficamente más elevadas. De allí, el agua subterránea fluye hacia el este en dirección al mar y el oeste hacia el límite con las Cpc. Por su parte, al oeste de la transecta, en

M-II los valores se encuentran entre 4,1 y 4,4 m s.n.m. Desde allí, disminuyen junto con la topografía, registrándose en Cpc valores desde 2,8 m s.n.m a 3,5 m s.n.m. (Figura 4.4.4b).

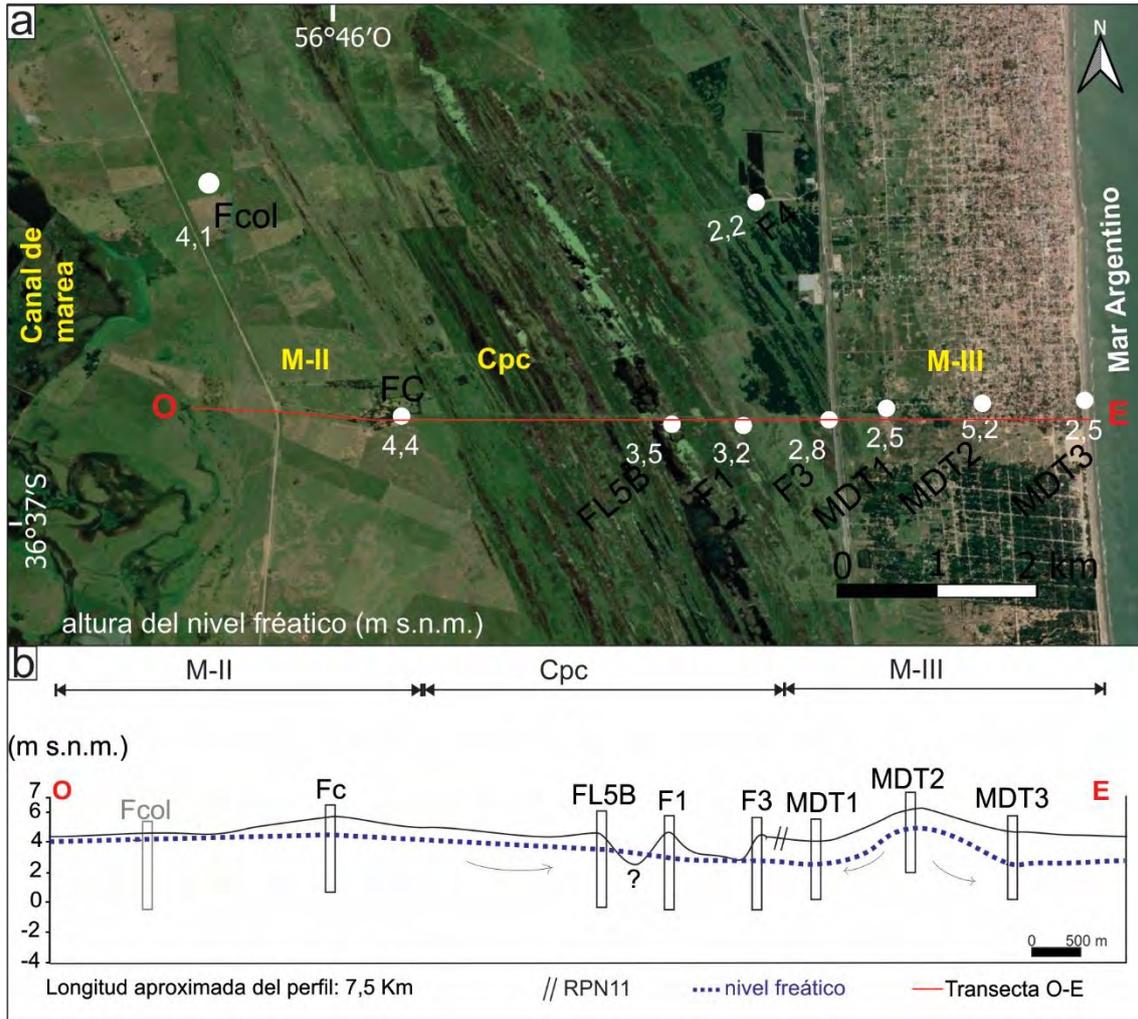


Figura 4.4.4. Hidrodinámica del Sector Central en periodo de déficit hídrico (enero-19). a- Mapa de alturas de niveles freáticos y b- Perfil esquemático del flujo subterráneo. M-III: médanos sobreimpuestos al cordón costero actual; Cpc: crestas de playa en zona continental; M-II: médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales.

Con respecto al monitoreo efectuado durante un periodo de excesos hídricos (junio-19) (Figura 4.2.12c), las mediciones en todos los pozos, muestran un incremento de los niveles alcanzando valores de entre 2 y 5,7 m s.n.m. manteniendo las relaciones de flujo desde las zonas topográficamente más altas hacia las más bajas al igual que ocurre en el periodo de déficit hídrico (Figura 4.4.5 a, b).

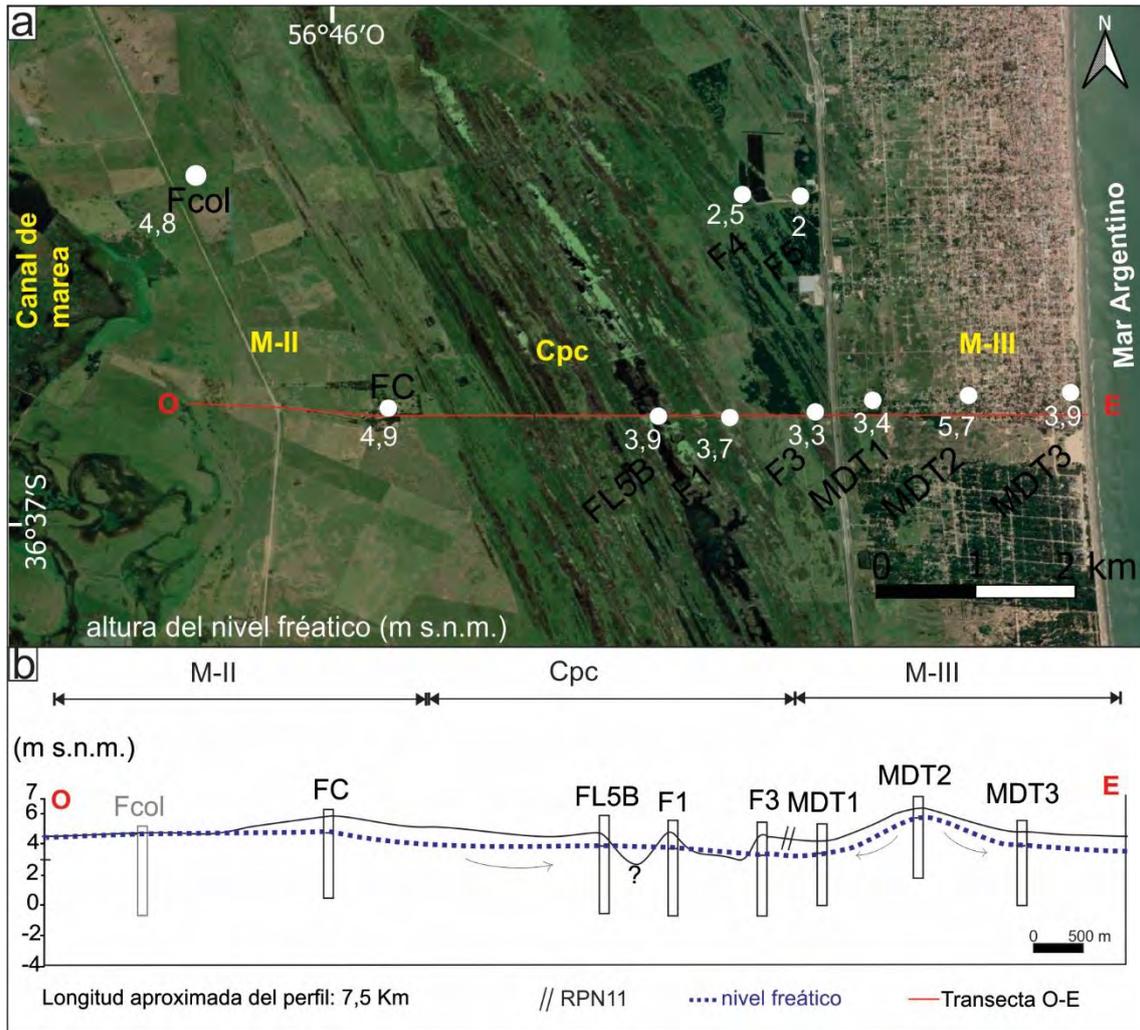


Figura 4.4.5. Hidrodinámica del Sector Central en periodo de exceso hídrico (junio-19). a- Mapa de alturas de niveles freáticos y b- Perfil esquemático del flujo subterráneo. M-III: médanos sobreimpuestos al cordón costero actual; Cpc: crestas de playa en zona continental; M-II: médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales.

Por otro lado, comparando estos dos periodos se observa que, la mayor variación promedio del nivel freático (0,9m) ocurre en M-III, y la menor en Cpc con un valor de 0,4 m (Tabla 4.4.2), destacando así que las mayores variaciones en el nivel freático se asocian a cotas topográficas más altas (M-III) y las menores variaciones a en cotas más bajas (Cpc).

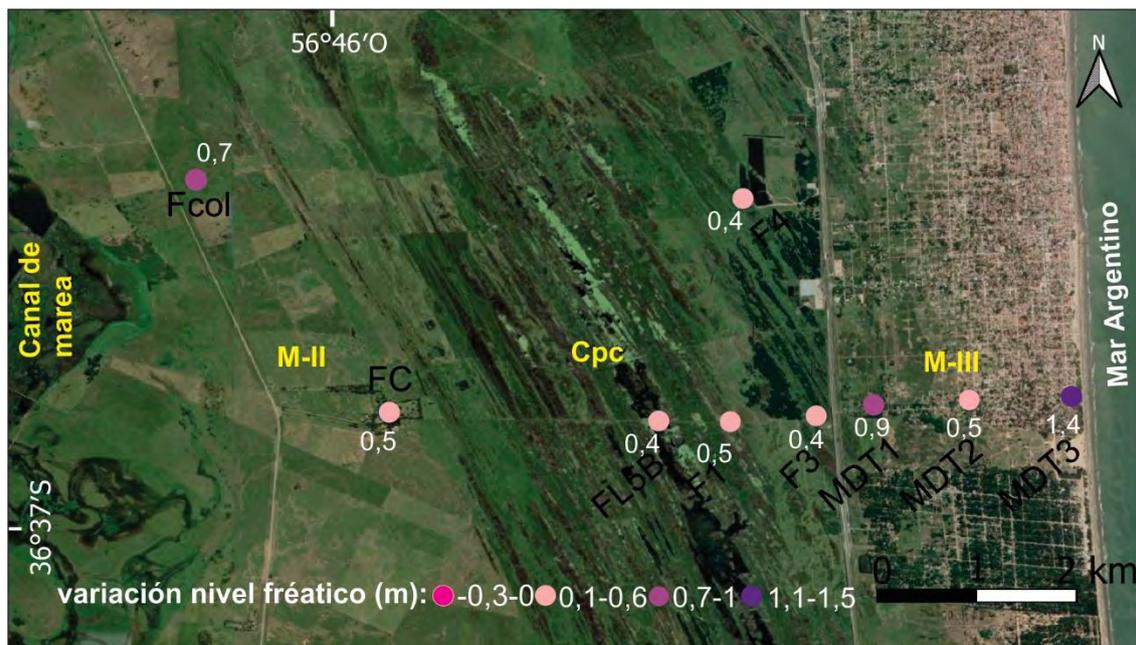


Figura 4.4.6. Mapa de variación de los niveles freáticos entre los periodos de exceso y déficit hídrico, correspondiente al Sector Central. M-III: médanos sobreimpuestos al cordón costero actual; Cpc: crestas de playa en zona continental; M-II: médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales.

Geoforma	Máximo (m s.n.m)	Mínimo (m s.n.m)	Promedio (m s.n.m)	Variación media (m)
M-III	5,7	2,5	3,9	0,9
Cpc	3,9	2,0	3	0,4
M-II	4,9	4,1	4,6	0,6

Tabla 4.4.2. Tabla valores máximos, mínimos, promedios y oscilación media del nivel freático en las geoformas evaluadas en el Sector Central entre los periodos de déficit y exceso hídrico. M-III: médanos sobreimpuestos al cordón costero actual; Cpc: crestas de playa en zona continental; M-II: médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales.

Respecto a las variaciones del nivel freático obtenidas de los sensores de registro continuo instalados en M-II (sensor FC) y Cpc (sensores F3), se observa que, en líneas generales, ambos muestran un comportamiento similar (Figura 4.4.7). En cuanto al sensor F3 (cota topográfica 4,4 m s.n.m) los niveles freáticos fluctúan entre 1,9 y 3,6 m s.n.m. Observando la Figura 4.4.7, se desprende que entre julio-18 y octubre-18 el nivel oscila por encima de la cota de 2,5 m s.n.m. y que desde octubre-18 hasta marzo-19 el nivel oscila con una tendencia descendente hasta alcanzar el valor mínimo de 1,9 m s.n.m. De marzo - 19 a junio - 19 los niveles se mantienen relativamente constantes entre 2 y 2,5 m s.n.m. y a partir de aquí, los niveles comienzan a ascender (Figura 4.4.7).

En el caso del sensor FC (cota topográfica 5,7 m s.n.m) los niveles freáticos fluctúan entre 3,9 y 5,4 m s.n.m. (Figura 4.4.7). Al igual que el sensor F3, el nivel entre julio-18 y octubre-18 oscila por encima de una cota de 5 m s.n.m. Desde octubre-18 hasta marzo-19 el nivel oscila con una tendencia descendente hasta alcanzar el valor mínimo de 3,9 m s.n.m mientras que, de marzo-19 a junio-19 se mantiene relativamente constante entre 4 y 4,5 m s.n.m. y luego comienza a ascender.

En ambos sensores, puede observarse en relación a las variables del balance hídrico (precipitaciones, excesos, ETP y reservas de agua en el suelo) que en el periodo donde los niveles se mantienen en sus máximas cotas las reservas de agua en el suelo también son máximas y las

precipitaciones generan en todos los casos excesos. Por el contrario, en el periodo donde los niveles descienden, la ETP en general es elevada, las reservas de agua en el suelo son escasas a nulas y no todas las precipitaciones ocasionan excesos (Figura 4.4.7).

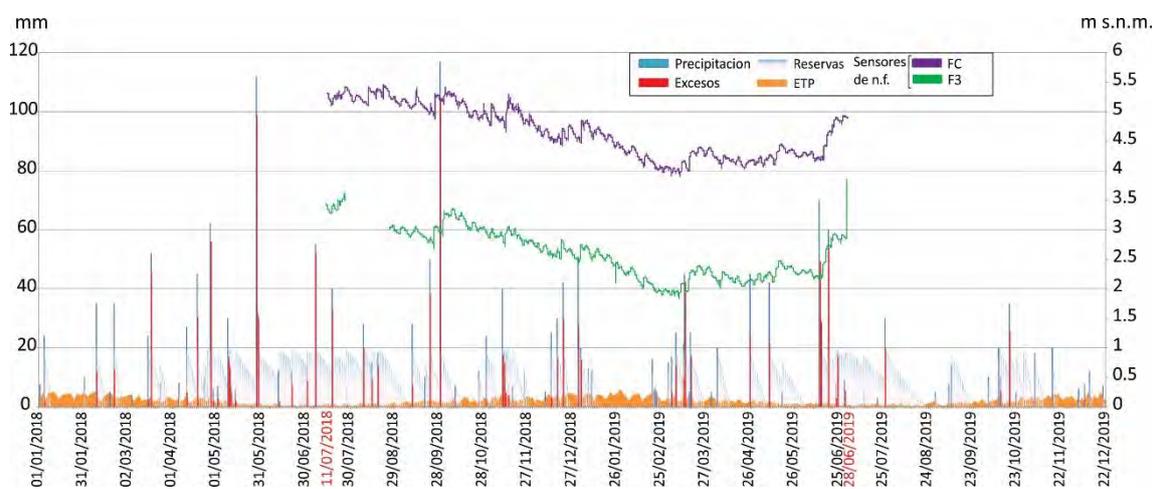


Figura 4.4.7. Registro de oscilaciones de los niveles freáticos medidos entre el 11/7/2018 y el 28/6/2019 por medio de sensores de registro continuo.

Cabe destacar, al igual que en el Sector Sur analizado previamente, que las fluctuaciones del nivel freático responden principalmente a las precipitaciones cuyos excesos se traducen en recarga del acuífero freático, provocando el ascenso del mismo. Asimismo, la comparación de los flujos determinados en las distintas unidades geomorfológicas, evidencian que, en general el flujo ocurre desde los sectores más altos hacia los más bajos. No obstante, en el Sector Sur, en la localidad de Mar de Ajó (en M-III), existe una modificación en la dirección del flujo local hacia el ejido urbano, lo que posiblemente se deba a la mayor densidad poblacional en comparación a la localidad de Mar del Tuyú (M-III del Sector Central). Esto originaría una menor variación del nivel freático en el Sur, respecto del Sector Central, donde las diferencias de los niveles freáticos medidos en periodo de déficit y excesos son mayores.

4.4.3. Sector Norte

En el monitoreo efectuado durante un periodo de déficit hídrico (enero-19) (Figura 4.2.12c), la marea osciló entre 0,2 y 2,33 m s.n.m habiéndose registrado el ingreso de la marea el día anterior a la medición de los niveles freáticos (Figura 4.4.8), inundando los bajos y la laguna principal. Sin embargo, el monitoreo fue realizado posteriormente, cuando la marea no alcanzó a inundar ni los bajos ni la laguna principal (durante la marea baja).

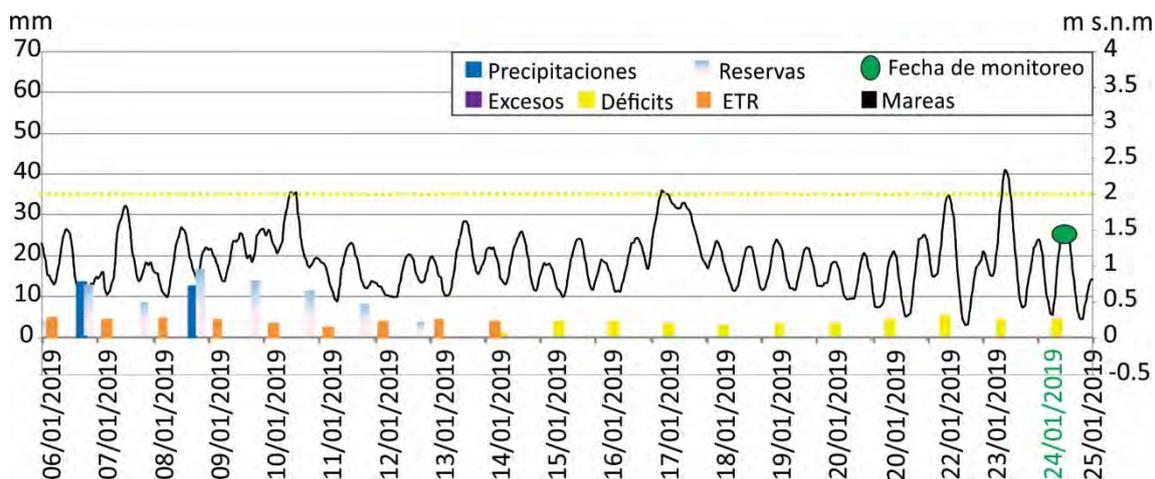


Figura 4.4.8. Registro de mareas y su relación con balances hídricos en el período de déficit hídrico (enero-19). El círculo verde representa el momento de la medición del nivel freático y en color verde la fecha. La línea punteada amarilla indica la cota de inundación (cota a partir de la cual la marea ingresa a la laguna).

Los niveles freáticos medidos durante este monitoreo se encuentran entre 1 y 3,4 m s.n.m., donde el más elevado (3,4 m s.n.m) se registra en la cresta de playa (pozo Lf7) y disminuye hacia los bajos intermareales.

Por su parte, en los bajos intermareales, las alturas de los niveles freáticos varían espacialmente entre 1 y 2,1 m s.n.m. según su cota topográfica y distancia a la laguna principal. Los valores mínimos se presentan en los sectores más próximos a la laguna principal (Lf3, Lf4, Lf5 y Lf6) (Figura 4.4.9a). Así mismo, dentro de estos, en Lf3 se registra la mínima altura del nivel freático de 1 m s.n.m. entre las medidas para los bajos intermareales. (Figura 4.4.9a).

A su vez, a partir del perfil topográfico y de los niveles freáticos, se observa un flujo desde las crestas de playa, que presentan las cotas topográficamente más elevadas (Lf7), hacia los bajos intermareales y laguna principal (Figura 4.4.9b). Dichos bajos intermareales si bien funcionan como zonas de descarga de los cordones de playa ubicados a mayores cotas topográficas, descargan a su vez hacia la laguna principal (Figura 4.4.9b).

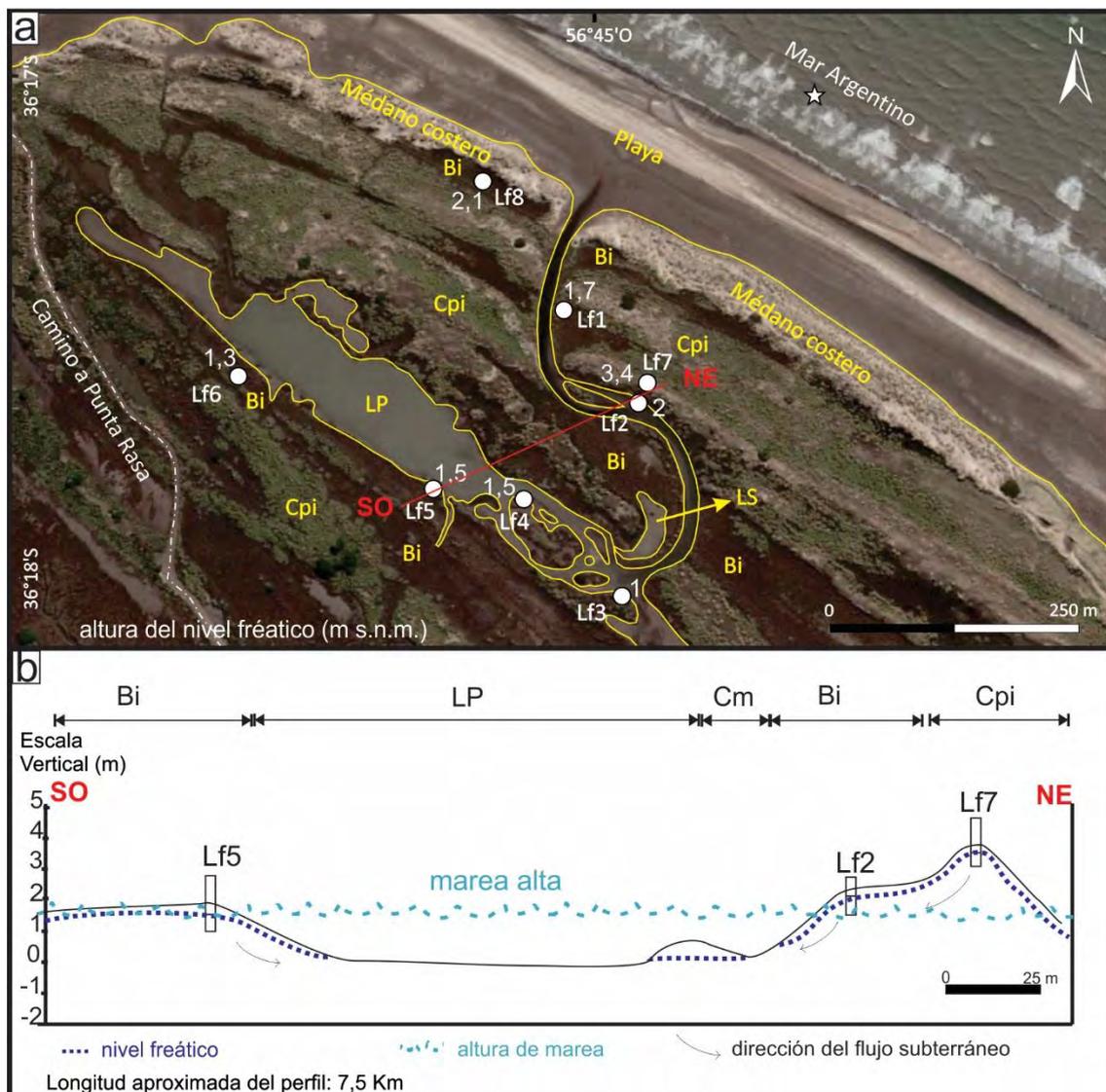


Figura 4.4.9. Hidrodinámica del Sector Norte en periodo de déficit hídrico (enero-19). a- Mapa de alturas de niveles freáticos y b- Perfil esquemático del flujo subterráneo. Cpi: crestas de playa en zonas intermareales; Bi: bajos intermareales; Cm: canal de marea; LS: laguna secundaria; LP: laguna principal.

Por otro lado, en el monitoreo realizado durante un periodo de excesos hídricos (junio-19) (Figura 4.2.12c), la marea osciló entre 0,4 y 2,07 m s.n.m., habiéndose registrado el máximo una semana antes de la medición de los niveles freáticos. No obstante, durante el monitoreo, el flujo de marea no ingresó ni a la laguna ni a los bajos intermareales (Figura 4.4.10.).

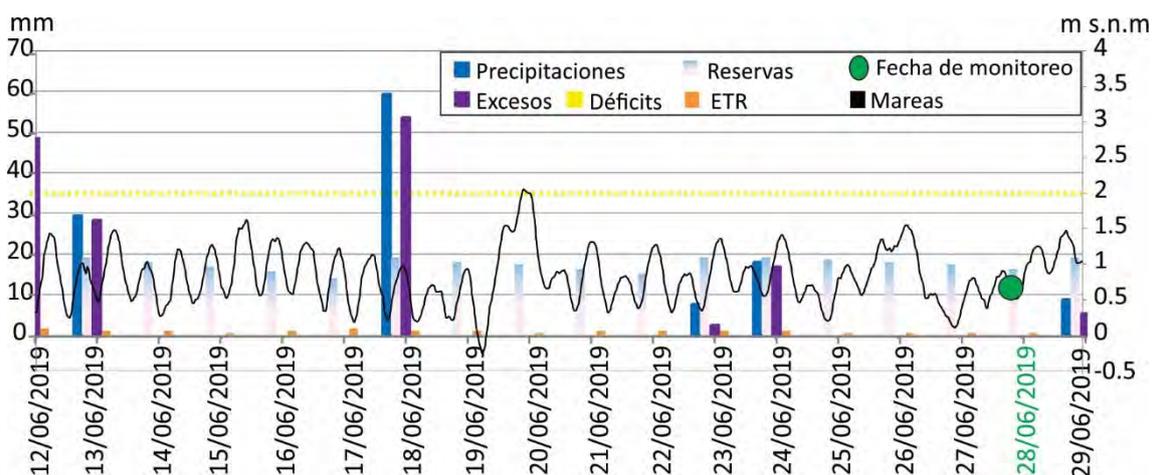


Figura 4.4.10. Registro de mareas y su relación con balances hídricos en el periodo de exceso hídrico (junio-19). El círculo verde representa el momento y en color verde la fecha de la medición del nivel freático. La línea punteada amarilla indica la cota de inundación (cota a partir de la cual la marea ingresa a la laguna).

Los niveles freáticos medidos durante este monitoreo se encuentran entre 0,8 y 3,4 m s.n.m., donde el más elevado (3,4 m s.n.m) se registra en la cresta de playa intermareal (pozo Lf7) y disminuye hacia los bajos intermareales (Figura 4.4.11a). De igual modo que en el periodo descrito anteriormente, el flujo del agua subterránea mantiene la misma dirección, desde las cotas topográficamente más elevadas (Cpi) hacia las más bajas (Bi y LP) (4.4.11b).

Por otro lado, considerando las variaciones entre los monitoreos de enero y junio-19 en los freatómetros del área, en la cresta de playa (Lf7) la medición efectuada del nivel freático se mantiene igual en ambos periodos (3,4 m s.n.m.) (Figura 4.4.12 y Tabla 4.4.3). En lo que respecta a las mediciones efectuadas en los bajos intermareales, la mayor variación promedio del nivel freático se da con un valor de -0,1 m, lo que implica un descenso promedio del nivel freático de enero a junio-19 (Tabla 4.4.3). Sin embargo, el pozo Lf4 es el único que presenta variación positiva dentro de los bajos intermareales, indicando un ascenso del nivel en junio-19 respecto a enero-19 (Figura 4.4.12.) de 0,1m. Cabe destacar que dicho punto se encuentra dentro de la laguna principal en una barra arenosa de topografía mayor respecto a la laguna que lo rodea. La máxima variación se registra en el pozo Lf6 con -0,5 m, seguido de Lf3 con -0,1 m por lo que hubo un descenso del nivel freático (Figura 4.4.12). Nótese que en los pozos Lf1, Lf2, Lf5 y Lf8, la altura del nivel freático se mantiene en la misma posición que en el periodo de déficit hídrico (Figura 4.4.12).

Cabe destacar, que los pozos que se encuentran en una cota topográfica más alta, no registraron variación en el nivel freático. Sin embargo, aquellos que registraron un descenso, se ubican en el borde de la laguna en cotas más bajas que los anteriores. Finalmente, el único pozo que registra un ascenso del nivel (Lf4) se encuentra ubicado en una barra arenosa en el interior de la laguna principal (Figura 4.4.11 y Tabla 4.4.3).

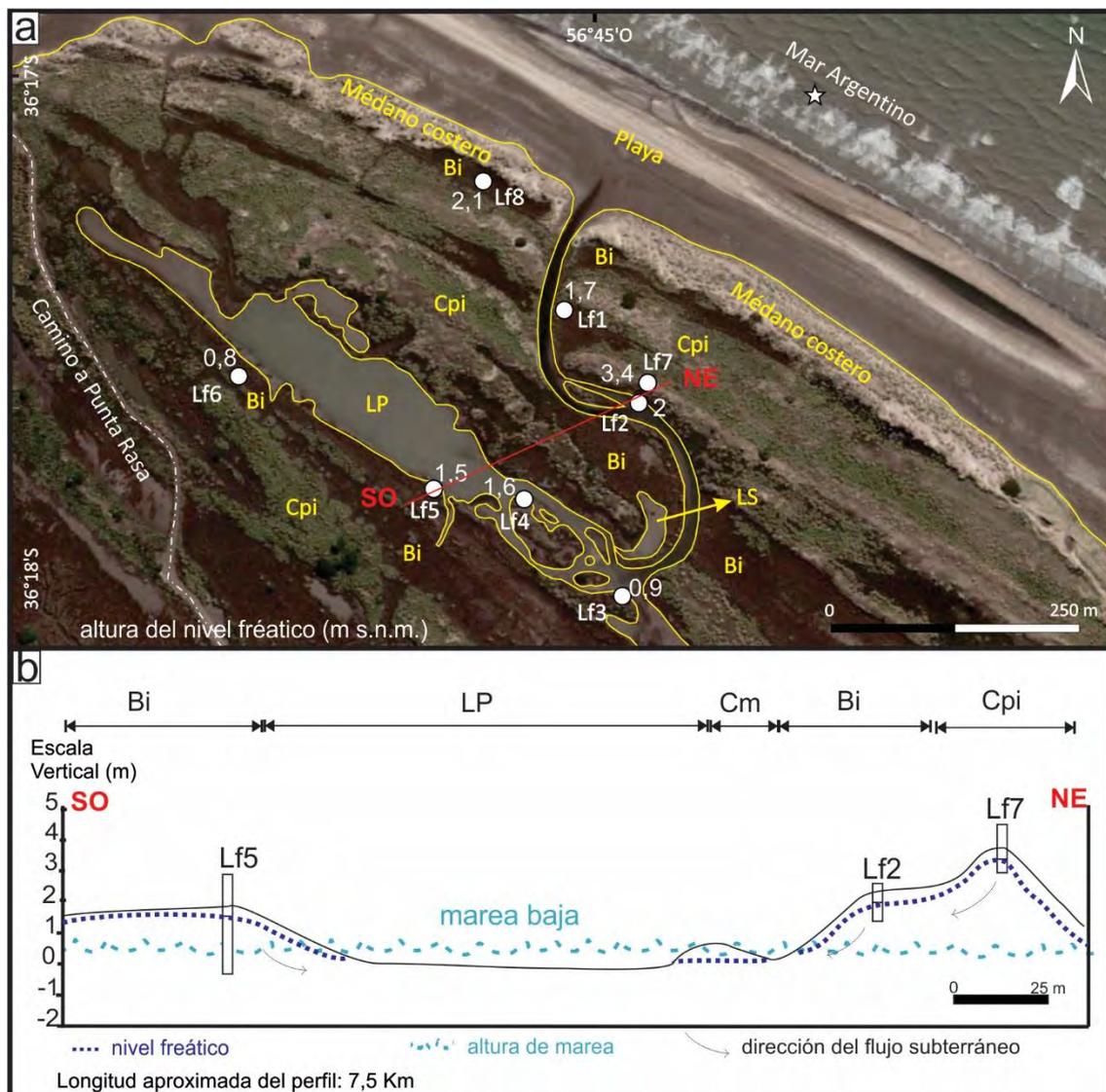


Figura 4.4.11. Hidrodinámica del Sector Norte en periodo de exceso hídrico (junio-19). a- Mapa de alturas de niveles freáticos y b- Perfil esquemático del flujo subterráneo. Cpi: crestas de playa en zonas intermareales; Bi: bajos intermareales; Cm: canal de marea; LS: laguna secundaria; LP: laguna principal.

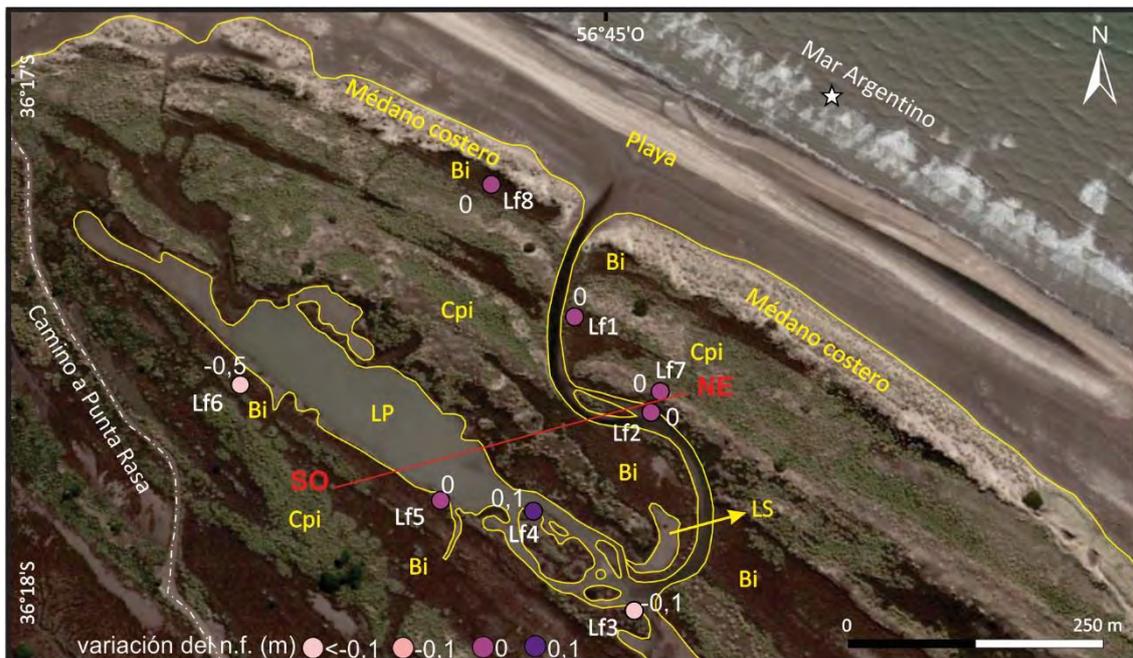


Figura 4.4.12. Mapa de variación de los niveles freáticos entre los periodos de exceso y déficit hídrico, correspondiente al Sector Norte. A- Mapa de variación en cada punto de monitoreo. Cpi: crestas de playa en zonas intermareales; Bi: bajos intermareales; Cm: canal de marea; LS: laguna secundaria; LP: laguna principal.

Geoforma	Máximo (m s.n.m)	Mínimo (m s.n.m)	Promedio (m s.n.m)	Variación media (m)
Cpi	3,4	3,4	3,4	0
Bi	2,1	0,8	1,5	-0,1

Tabla 4.4.3. Tabla valores máximos, mínimos, promedios y oscilación media del nivel freático en las geoformas evaluadas en el Sector Norte entre los periodos de déficit y exceso hídrico. Cpi: crestas de playa en zonas intermareales; Bi: bajos intermareales.

Del análisis conjunto de los registros de mareas, precipitaciones, excesos de agua y niveles freáticos medidos en las fechas consideradas, se desprende que existen distintos comportamientos en cuanto a la hidrodinámica del agua subterránea.

Por un lado, se observa que durante el periodo de déficit hídrico (enero-19), los niveles freáticos son mayores en relación al periodo de excesos (junio-19) (Figura 4.4.8 y 4.4.10). Esto podría deberse a la inundación mareal ocurrida el día previo al monitoreo, donde el agua de mar infiltra en los sedimentos arenosos produciendo un ascenso del nivel freático.

Cabe destacar entonces que, a diferencia de lo que ocurre en el Sector Sur y Centro, las fluctuaciones del nivel freático se asocian no solo a las precipitaciones cuyos excesos se traducen en recarga del acuífero freático, sino que también responden fuertemente a las variaciones del flujo mareal y en particular durante la marea alta.

4.5. ANÁLISIS HIDROQUÍMICO

En el presente apartado se realizará la caracterización hidroquímica del agua subterránea y superficial a partir de los parámetros fisicoquímicos medidos *in situ* (pH y CE del agua) y las determinaciones de isótopos estables de la molécula de agua y de iones mayoritarios y minoritarios. Los datos obtenidos se analizarán teniendo en cuenta, por un lado, criterios espaciales según las unidades geomorfológicas y la red de flujo a la cual se vinculan descriptas en los apartados 4.1. y 4.3., respectivamente. Por otro lado, se contemplarán aspectos

temporales de acuerdo a las fechas de muestreo y su relación con los excesos hídricos, aspecto abordado en el apartado 4.2. Particularmente en el Sector Norte también se considerará la influencia del flujo mareal. Dicha caracterización hidroquímica se llevará a cabo siguiendo el sentido evolutivo del ambiente litoral, comenzando por el Sector Sur, continuando con el Sector Centro para finalizar en el Sector Norte. Para cada sector se analizará la relación con las geoformas definidas siguiendo el mismo orden de descripción presentado en el apartado 4.1 de Geomorfología.

4.5.1. Caracterización química y facies hidroquímicas

4.5.1.1. Sector Sur

En este sector las unidades geomorfológicas relevadas corresponden a médanos sobreimpuestos al cordón costero actual (M-III), médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente ubicadas en zonas continentales (M-II) y mantos de arena (M-I). La toma de muestras fue llevada a cabo durante noviembre-17, marzo-18, agosto-18 y enero-19, para las dos primeras unidades geomorfológicas, en tanto que, en M-I, los datos son de los 2 últimos muestreos.

La CE y pH del agua presentan leves variaciones entre las tres unidades geomorfológicas analizadas. En la unidad M-III se registraron valores de **CE que varían entre 429 y 967 $\mu\text{S}/\text{cm}$** , en **M-II entre 402 y 1678 $\mu\text{S}/\text{cm}$** mientras que en M-I oscilaron entre **683 y 690 $\mu\text{S}/\text{cm}$** (Anexo Tabla I). Asimismo, si bien se observan ligeras variaciones espaciales asociadas a la topografía, en todos los casos se trata **de agua dulce** ya que no se supera el límite establecido tanto para el consumo humano como ganadero (Figura 4.5.1). El pH, por su parte, en las tres geoformas presentó valores **neutros a levemente alcalinos** los cuales fluctúan entre 7,2 y 8,3 (Anexo Tabla I).

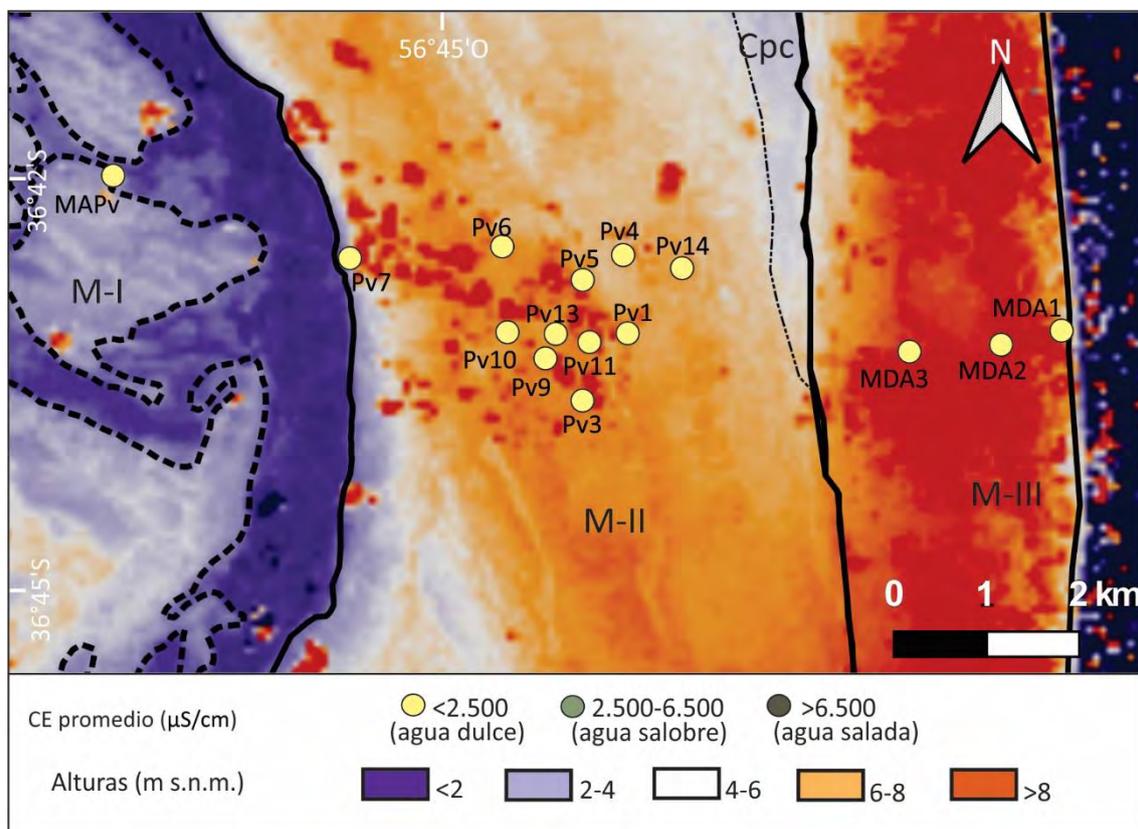


Figura 4.5.1. Distribución de las conductividades eléctricas promedio (considerando todos los muestreos) en el

Sector Sur. M-III: médanos sobreimpuestos al cordón actual; M-II: médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales; M-I: mantos arenosos; Cpc: crestas de playa actualmente en zonas continentales.

A su vez, si se comparan el pH y la CE en las tres geoformas para los cuatro muestreos se evidencia que la mayor variabilidad se da en la CE (Figura 4.5.2). En la Figura 4.5.2a se puede apreciar que los valores de pH siguen tendencias similares en las tres unidades geomorfológicas, donde los valores más altos se registraron en noviembre-17, disminuyen hacia marzo-18 y agosto-18 aumentando nuevamente en enero-19. Por otro lado, la CE no solo presenta los mayores rangos intercuantílicos (altura de la caja) indicativos de la mayor variabilidad y dispersión de los datos, sino que también hay variaciones entre las geoformas siendo M-II la que posee las mayores diferencias (Figura 4.5.2b).

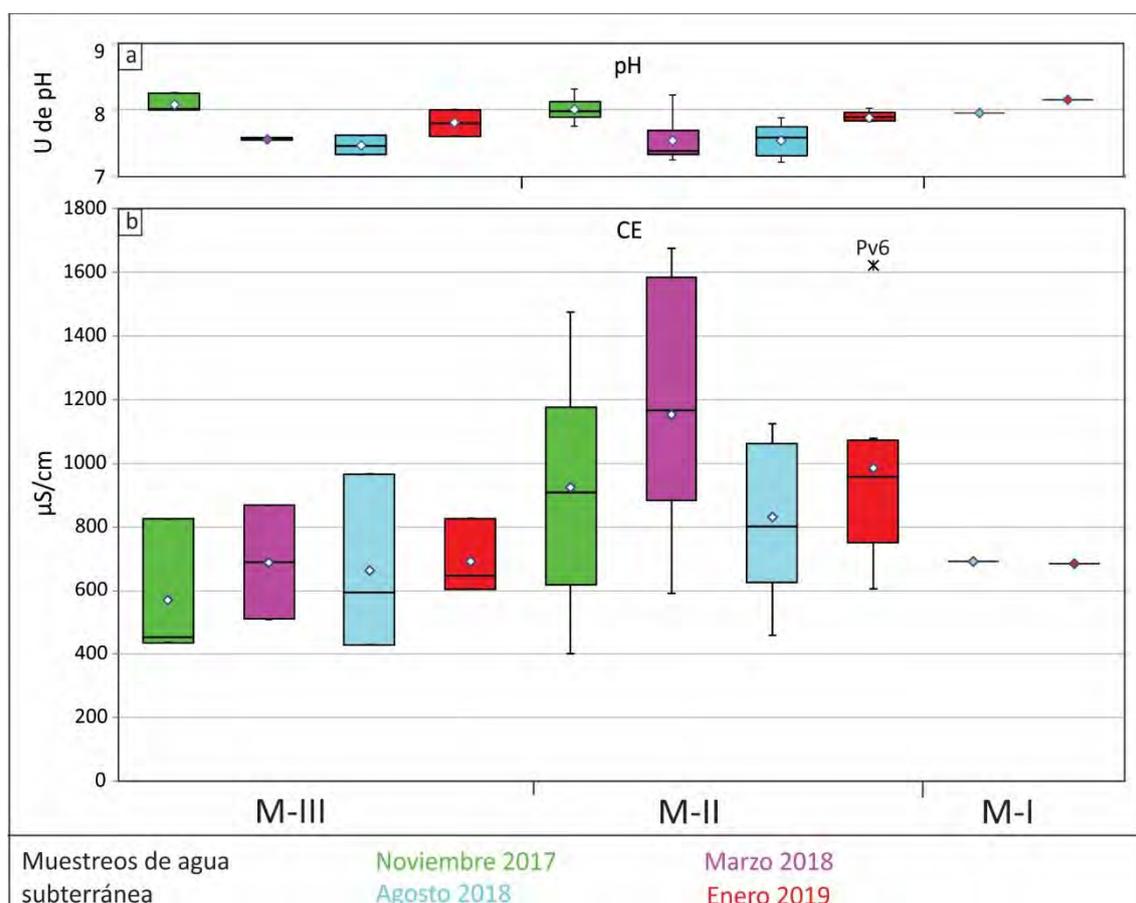


Figura 4.5.2. Representación de la variabilidad de a- pH y b-CE en aguas subterráneas analizadas en las unidades geomorfológicas correspondientes al Sector Sur. M-III: médanos sobreimpuestos al cordón actual; M-II: médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales; M-I: mantos arenosos.

El contenido de iones mayoritarios en mg/L para los cuatro muestreos en las distintas geoformas se muestra en el diagrama de Schoeller-Berckaloff de la Figura 4.5.3. En concordancia con los valores de CE, las mayores concentraciones iónicas se registran en M-II. Si se consideran los datos presentados en la Anexo Tabla I y la Figura 4.5.3, en M-III se cumple que las concentraciones de los aniones y cationes para la mayoría de los muestreos es $\text{HCO}_3^- \gg \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$ y $\text{Ca}^{+2} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+$, respectivamente. En M-II, por su parte, la dominancia de los aniones está dada por $\text{HCO}_3^- \gg \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$, mientras que para los cationes es $\text{Ca}^{+2} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+$, habiendo algunas excepciones cuyo orden sería $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{+2}$ (Pv4, Pv5 y Pv10) (Anexo Tabla I). Con respecto a M-I, el predominio para los aniones es $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$

y para cationes, $Ca^{+2} > Na^{+} > Mg^{+2} > K^{+}$, pudiéndose alternar Na^{+} y Mg^{+2} hacia enero-19 (Anexo Tabla I).

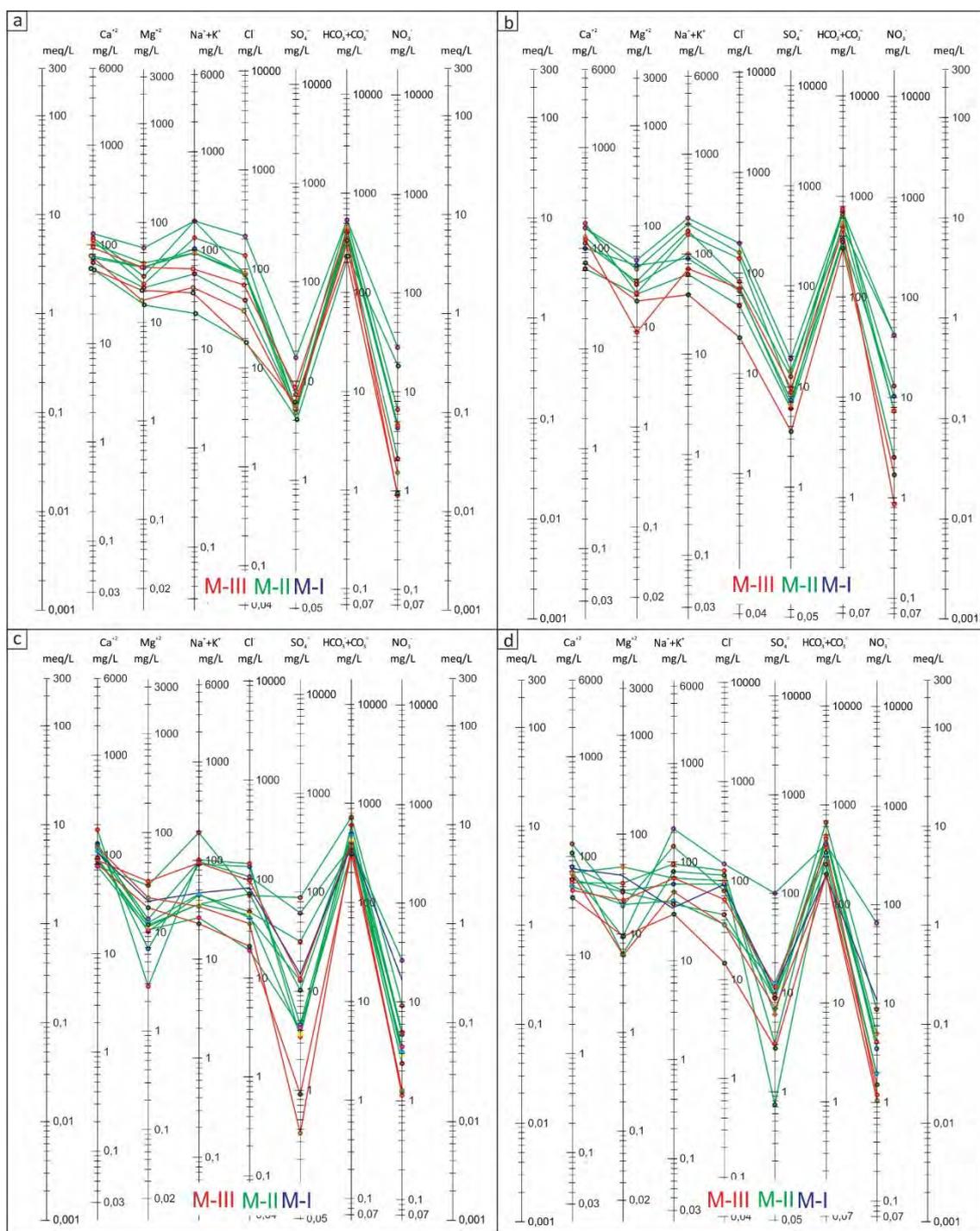


Figura 4.5.3. Diagrama Schoeller-Berckaloff. a- noviembre-17, b-marzo-18, c-agosto-18 y d-enero-19. Los distintos colores corresponden a las unidades geomorfológicas: Líneas rojas M-III: médanos sobreimpuestos al cordón actual; líneas verdes M-II: médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales; Líneas azules M-I: mantos arenosos.

En base a la química de elementos mayoritarios se puede decir que M-III presenta aguas predominantemente de tipo Ca-HCO₃ para los 4 muestreos realizados (Figura 4.5.4). Los iones predominantes poseen concentraciones medias de 320 y 77mg/L para HCO₃⁻ y Ca²⁺,

respectivamente (*Anexo Tabla X*). Asimismo, ambos iones siguen tendencias similares presentando los mayores contenidos en marzo-18 y agosto-18 y los menores en noviembre-17 y enero-19 (Figura 4.5.5a y b). Cabe destacar que en la muestra MDA1 la concentración de Na^+ aumenta hacia agosto-18 y enero -19, más marcado en este último, por lo que la facies cambia a Na-HCO_3 (Figura 4.5.4c y d; *Anexo Tabla X*).

Con respecto a M-II, predominan facies de tipo Ca-HCO_3 y Na-HCO_3 (Figura 4.5.4) donde las concentraciones medias de los iones dominantes son de 441 mg/L para HCO_3^- , 98 mg/L para Ca^{+2} y 82 mg/L para Na^+ (*Anexo Tabla X*). Nótese en que esta unidad geomorfológica, se obtuvieron mayores variabilidades en cuanto a los contenidos iónicos en comparación con M-III (Figura 4.5.5).

Finalmente, la química de iones mayoritarios en M-I indica que aquí dominan facies de tipo Ca-HCO_3 a Ca-Mg-HCO_3 (Figura 4.5.4c y d). En este caso, la concentración iónica media para el HCO_3^- es de 276 mg/L, para el Ca^{+2} de 88 mg/L y para el Mg^{2+} es de 30 mg/L (*Anexo Tabla X*).

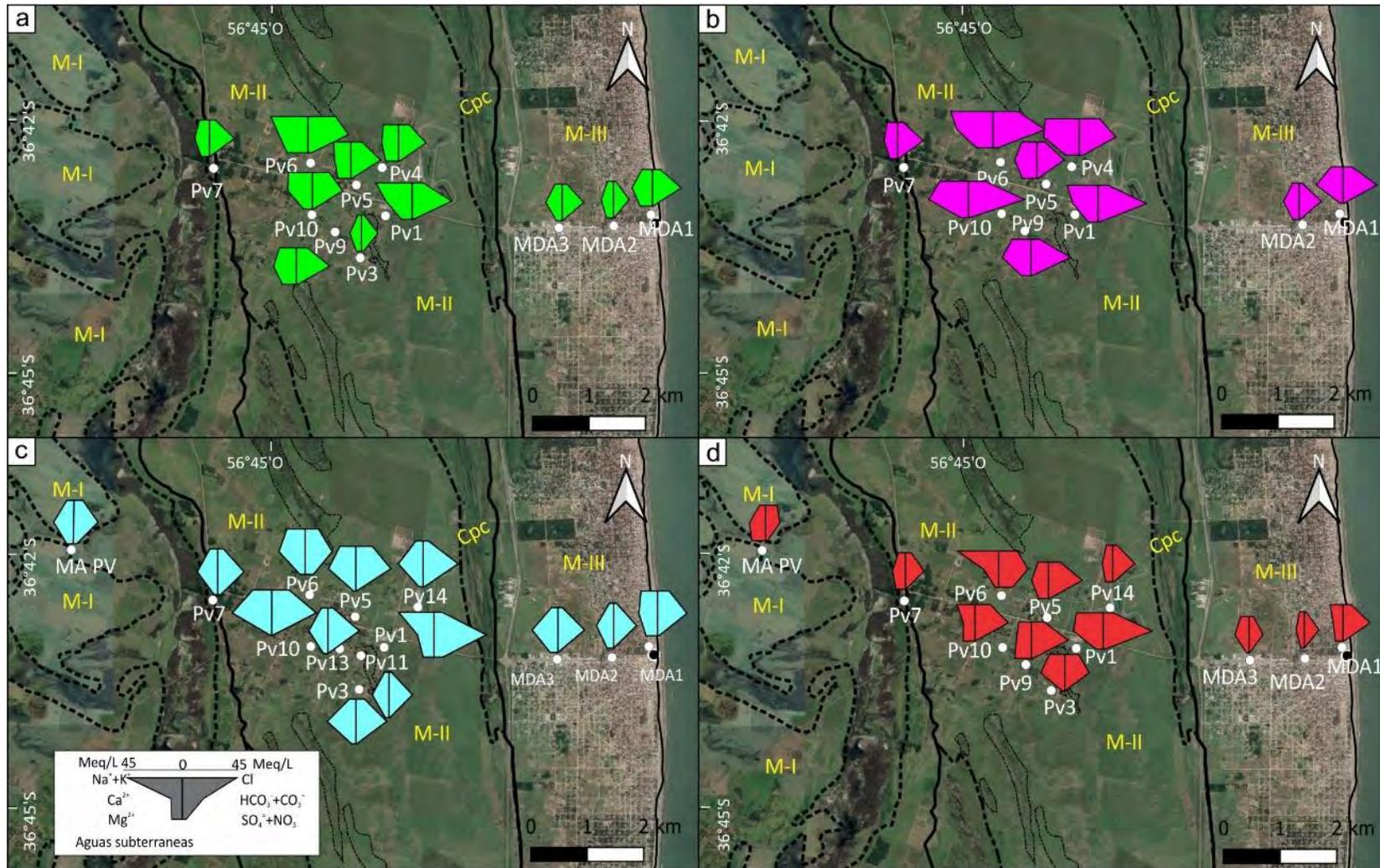


Figura 4.5.4. Diagrama de Stiff. Representación espacial del agua subterránea en los muestreos a-noviembre-17, b-marzo-18, c- agosto-18 y d-enero-19 en el Sector Sur del área de estudio. M-III: médanos sobreimpuestos al cordón actual; M-II: médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales, M-I: mantos arenosos; Cpc: crestas de playa actualmente en zonas continentales.

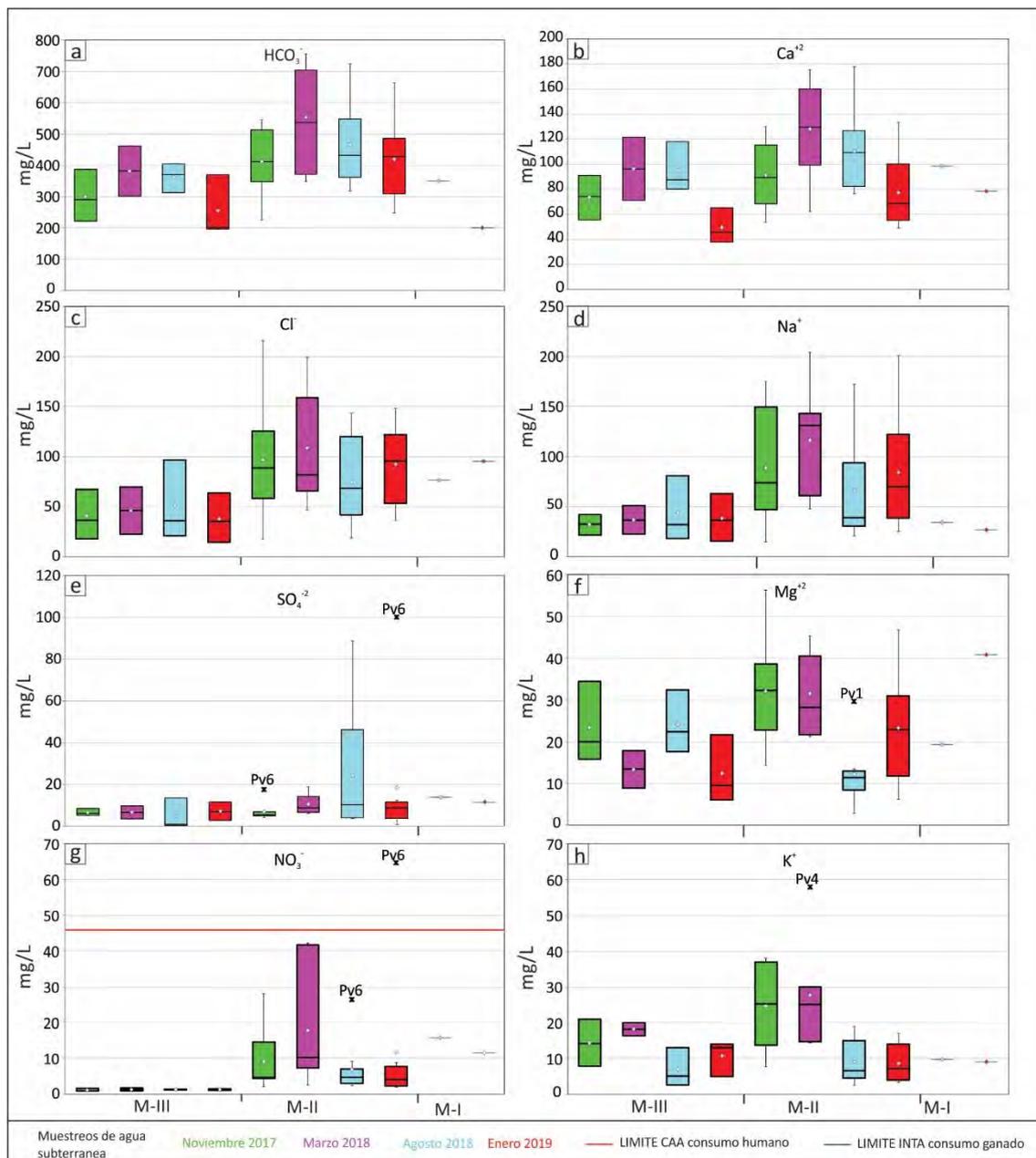


Figura 4.5.5. Representación de la variabilidad de iones mayoritarios, en cada geomorfología y periodo de muestreo, correspondiente al Sector Sur. M-III: médanos sobreimpuestos al cordón actual; M-II: médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales; M-I: mantos arenosos. Se marcan en línea azul y roja solo en aquellos gráficos donde los valores correspondientes a los límites de CAA (2012) e INTA (Luque, 2018) fueron superados para cada ion en particular.

4.5.1.2. Sector Central

En el Sector Central se monitorearon aguas subterráneas en las unidades geomorfológicas de médanos sobreimpuestos al cordón costero actual (M-III), médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente ubicadas en zonas continentales (M-II), mantos de arena (M-I) y crestas de playa en zonas continentales (Cpc), relevándose también el agua superficial de cañadas (C) que se localizan en los bajos intercrestaes de Cpc. La toma de muestras de agua fue llevada a cabo durante noviembre-17, marzo-18, agosto-18 y enero-19.

Considerando todos los muestreos, se observa que la CE del agua presenta variaciones entre las unidades geomorfológicas analizadas. Los menores valores de CE del agua subterránea se registran en M-III y M-II con variaciones entre 267 y 951 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y entre 243 y 1888 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente, encontrándose todos los puntos dentro de rangos asociados a agua dulce (*Anexo Tabla III*). Por su parte, en Cpc la CE varía entre 418 y 7040 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y en M-I entre 504 y 5010 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (*Anexo Tabla III*), alojando estas unidades agua subterránea tanto dulce como salobres y saladas, característica que limita en estos dos últimos casos su uso como agua de consumo humano (valores de CE por encima de 1950 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Cabe aclarar que en ningún caso la CE supera el límite establecido para el consumo del ganado (10400 $\mu\text{S}/\text{cm}$). En todas las unidades, si se comparan los datos de CE en relación a la cota del terreno se observa que en general los valores de CE más bajos se encuentran en los sitios topográficamente más elevados (Figura 4.5.6). Con respecto al agua superficial de los bajos intercrestaes esta es dulce con valores de CE entre 775 y 1144 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (*Anexo Tabla III*).

Por otro lado, el pH registrado en todas las unidades geomorfológicas varía entre 6,8 a 8,2 (*Anexo Tabla III*), siendo este también muy poco variable entre los distintos muestreos (Figura 4.5.7a).

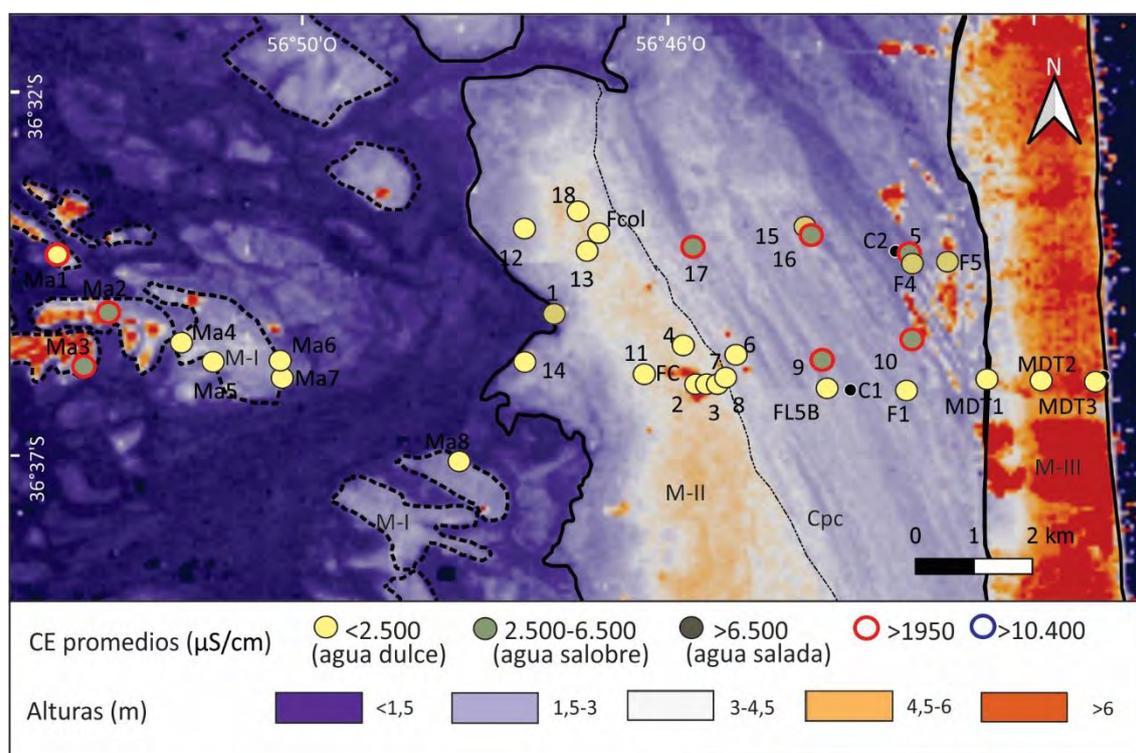


Figura 4.5.6. Distribución espacial de las CE promedias (considerando todos los muestreos) en el Sector Central. M-III: médanos sobreimpuestos al Cordón actual; Cpc: crestas de playa en actualmente zonas continentales; M-II: médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales; M-I: mantos arenosos.

Los círculos rojos muestran las CE promedios que superan el límite sugerido por CAA (2012) para consumo humano.

Los círculos azules muestran la CE que superan el límite sugerido por INTA (Luque, 2018) para ganado vacuno.

Los valores de CE del agua subterránea dentro de cada unidad para los distintos muestreos presentan mayor variabilidad y dispersión en las muestras de Cpc y M-I, siendo en esta última menos marcados (Figura 4.5.7b). En ambas unidades, las CE más altas y las mayores variaciones se registran en el muestreo de marzo-18. En el agua superficial de los bajos intercrestaes, si bien las variaciones entre muestreos son escasas se registra una tendencia a disminuir entre marzo-18 y agosto-18.

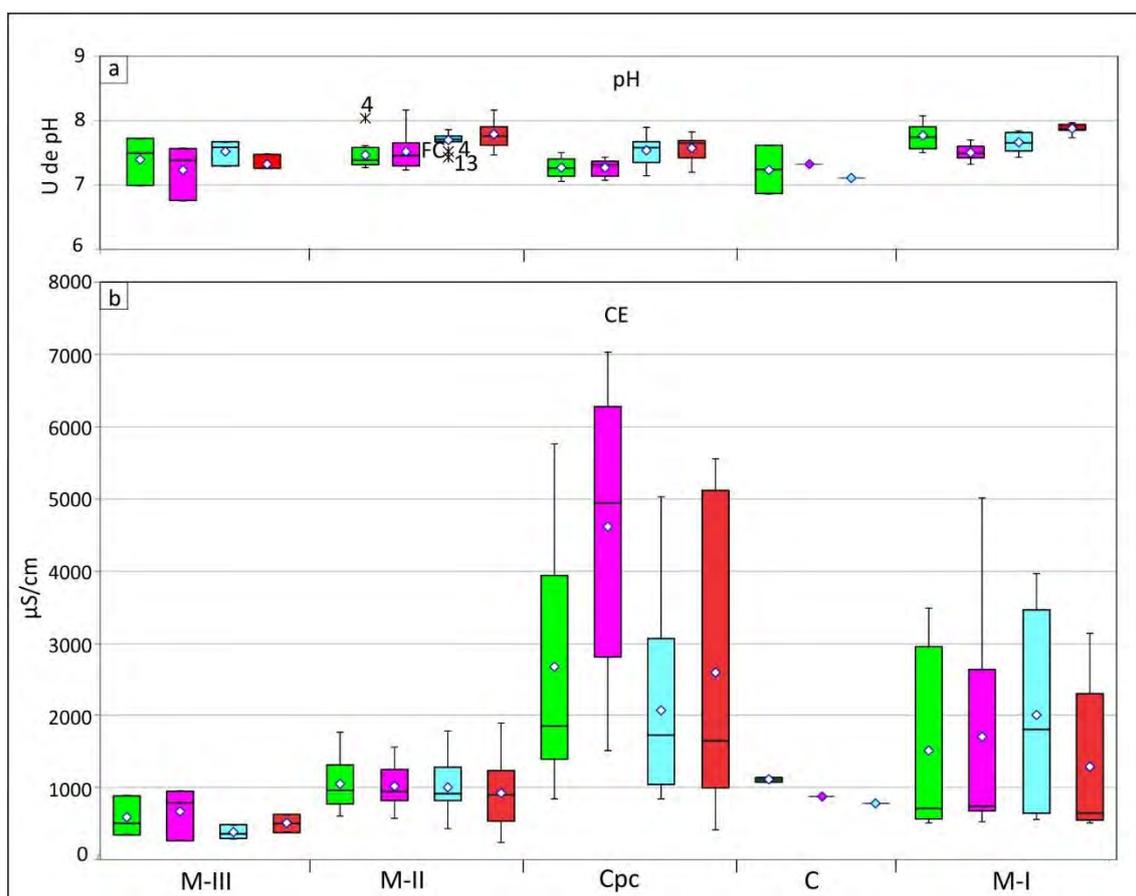


Figura 4.5.7 Gráfico de cajas y bigotes. Representación de la variabilidad de a-pH y b-CE en las unidades geomorfológicas del Sector Central, donde M-III: médanos sobreimpuestos al cordón actual; M-II: médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales; Cpc: crestas de playa en actualmente zonas continentales; M-I: mantos arenosos; C: agua superficial tomada en cañadas en los bajos intercrestaes. Los distintos colores se refieren al periodo de muestreo: verde: noviembre-17; violeta: marzo-18; celeste: agosto-18 y rojo: enero-19.

En relación a los iones mayoritarios, los resultados obtenidos del análisis del agua subterránea y superficial para este Sector evidencian un aumento de los contenidos iónicos desde M-III hacia M-II, M-I, registrándose las mayores concentraciones en Cpc, en coincidencia con los aumentos de CE. Por su parte, las aguas superficiales tomadas de las cañadas presentan concentraciones similares a M-II y M-I (Figura 4.5.8). Las concentraciones iónicas para la mayoría de los muestreos en M-III y M-II es $\text{HCO}_3^- >> \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$ y $\text{Ca}^{+2} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+$, habiendo algunas excepciones en M-II donde $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{+2}$. Con respecto a M-I, el predominio para los aniones es $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ y para cationes, $\text{Ca}^{+2} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+$, exceptuando los puntos ubicados al oeste (MA1, MA2 y MA3) donde $\text{Na}^+ >> \text{Ca}^{+2}$ y $\text{Cl}^- >> \text{HCO}_3^-$ (Anexo III). En Cpc, la dominancia de los aniones y cationes en el agua subterránea es más variable, destacando pozos donde $\text{Cl}^- >>$

$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$ y $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$, y otros donde $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$. Por su parte, en el agua superficial de las cañadas (C), se cumple que $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$ y $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ (Anexo Tabla III y Figura 4.5.8).

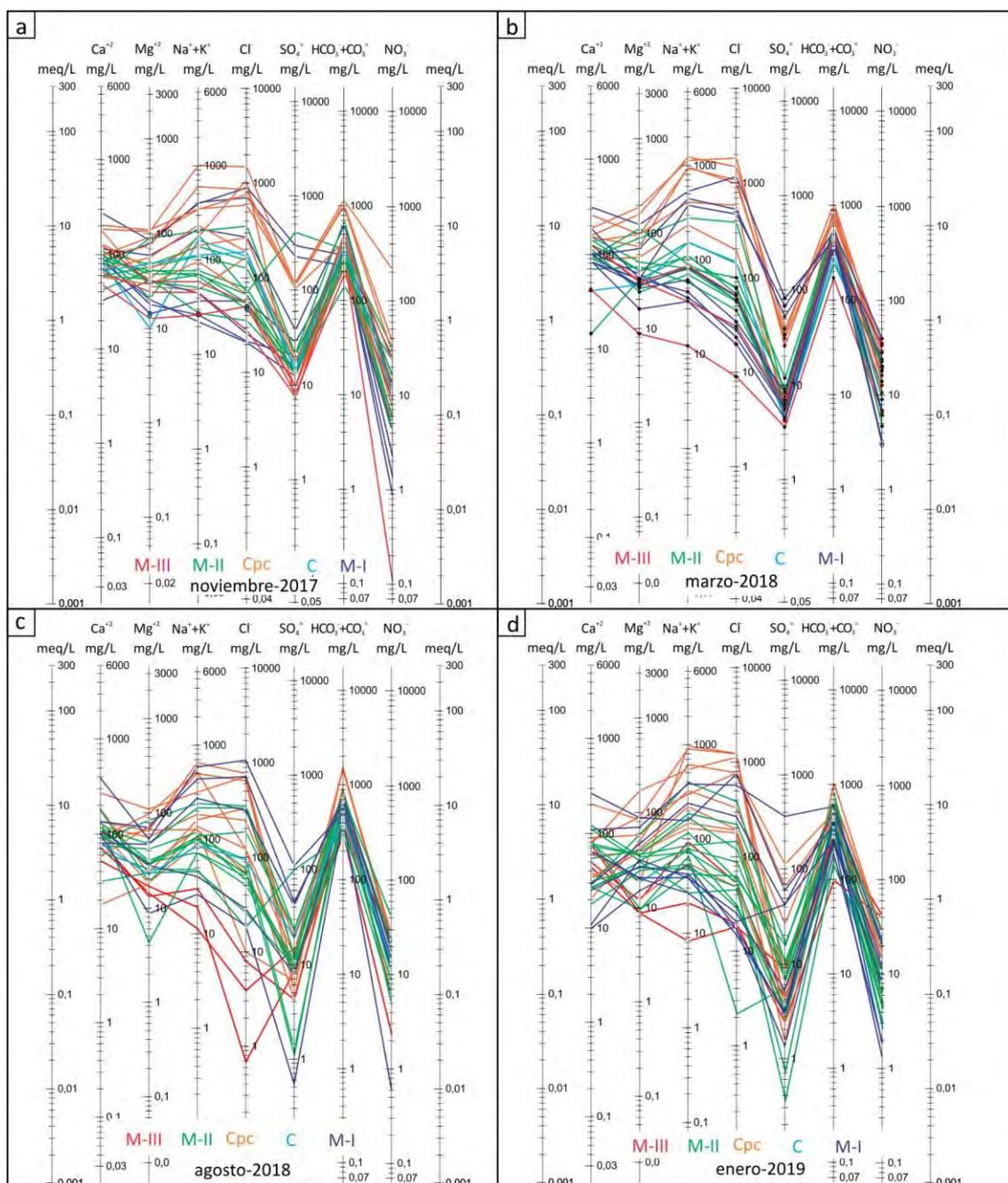


Figura 4.5.8. Diagrama Schoeller-Berckaloff. a-noviembre-17, b-marzo-18, c-agosto-18 y d-enero-19. Los distintos colores corresponden a las unidades geomorfológicas: rojo representa M-III: médanos sobreimpuestos al cordón actual; naranja Cpc: crestas de playa en actualmente zonas continentales; verde M-II: médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales; azul M-I: mantos arenosos y en celestes aguas superficiales tomadas de las cañadas (C).

En relación a las facies hidroquímicas, M-III presenta un predominio de aguas de tipo Ca-HCO_3 en los 4 muestreos realizados (Figura 4.5.9). Los iones predominantes presentan concentraciones medias de 336 mg/L para el HCO_3^- y 76 mg/L para Ca^{2+} (Anexo Tabla X),

registrándose en noviembre-17 y marzo-18 valores más elevados en estos iones respecto de agosto-18 y enero-19 (Figura 4.5.10a y b).

En la unidad M-II la mayor parte de los sitios presentan facies tanto Ca-HCO₃ como Na-HCO₃ (Figura 4.5.9), registrándose también en esta unidad sitios con facies Na-Cl (pozo 12, Figura 4.5.9 a y d). Las concentraciones medias de los iones dominantes son de 435 mg/L para HCO₃⁻, 95 mg/L para Ca⁺² para las muestras Ca-HCO₃. Por su parte, las muestras Na-HCO₃ presentan concentraciones medias de 535 y 129 mg/L para HCO₃⁻ y Na⁺, respectivamente (*Anexo Tabla X*). Nótese que esta unidad geomorfológica, en comparación con M-III, presenta tendencias similares en cuanto a las concentraciones iónicas registrándose los mayores contenidos en dichos iones en noviembre-17 y marzo-18 (Figura 4.5.10 a, b y c).

En Cpc, el agua subterránea presenta facies de tipo Na-Cl y Na-HCO₃ (Figura 4.5.9), donde los iones predominantes poseen concentraciones medias de 716 mg/L para el HCO₃⁻, 397 mg/L para Na⁺ y 600 mg/L para Cl⁻ (*Anexo Tabla X*). Se destaca la alta variabilidad de los contenidos iónicos en el agua subterránea de esta unidad, donde las concentraciones del ion Cl⁻ podrían ser una limitante para su consumo (Figura 4.5.10c). Por su parte, el agua superficial de las cañadas (C) tiene facies Na-HCO₃ (Figura 4.5.9), registrando concentraciones medias de 399 mg/L de HCO₃⁻ y 103 mg/L para Na⁺.

Por último, en M-I, se registra hacia el este la presencia de facies Ca-HCO₃ mientras que, hacia el oeste, el agua tiende a facies Na-Cl, a excepción del pozo MA1 que presenta facies principalmente Na-HCO₃ (Figura 4.5.9.). La concentración iónica media para el HCO₃⁻ es de 416 mg/L, para el Ca⁺² de 116 mg/L, para el Cl⁻ es de 294 mg/L y para el Na⁺ de 169 mg/L (*Anexo Tabla X*), siendo en algunos sitios con facies Na-Cl las elevadas concentraciones en Cl⁻ una limitante para el consumo humano (Figura 4.5.10c).

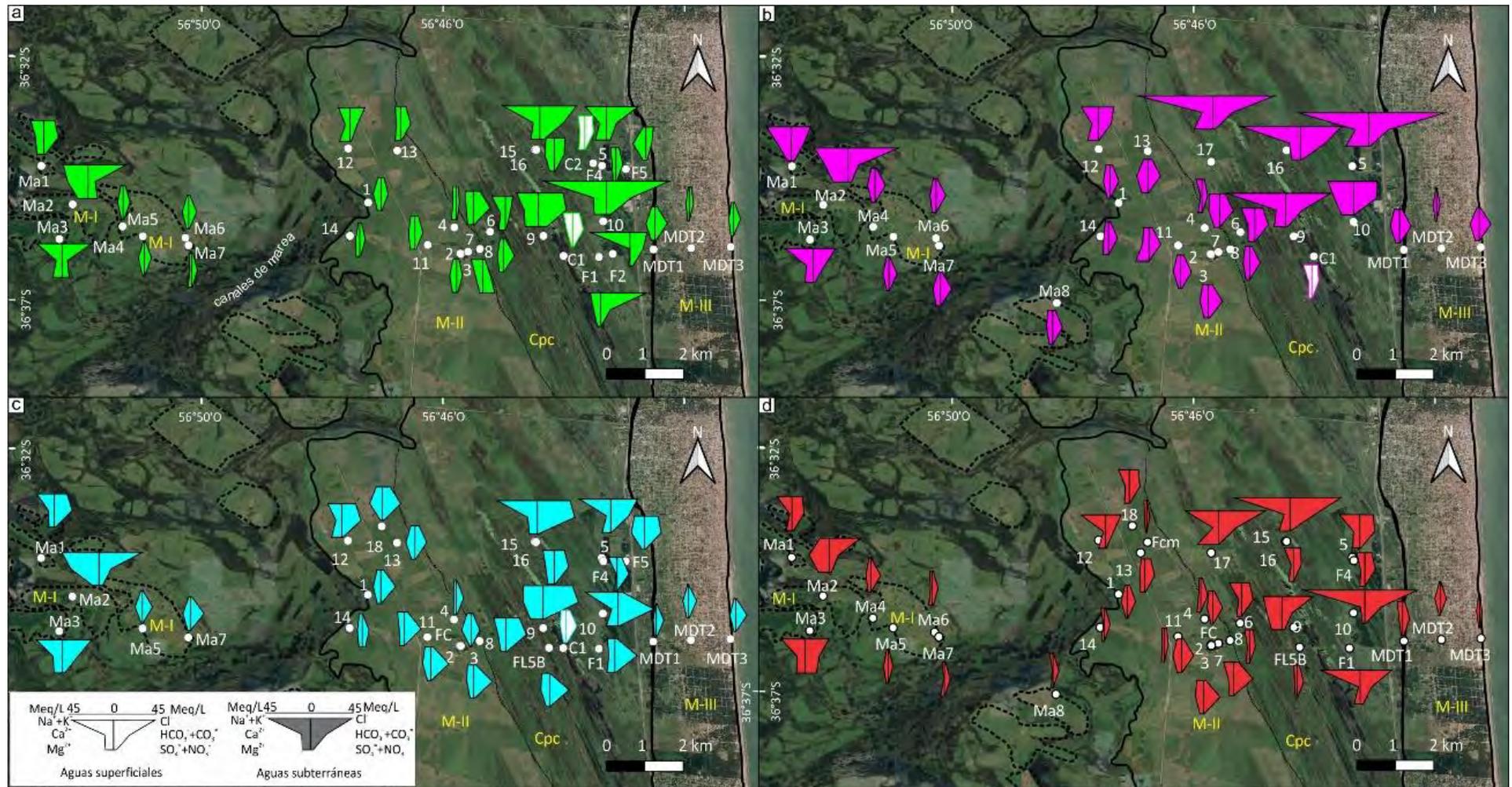


Figura 4.5.9. Diagrama de Stiff. Representación espacial del agua subterránea en los muestreos a-noviembre-17, b-marzo-18, c-agosto-18 y d-enero-19 en el Sector Central del área de estudio donde M-III: médanos sobrepuestos al cordón actual; M-II: médanos sobrepuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales; Cpc: crestas de playa en actualmente zonas continentales; M-I: mantos arenosos.

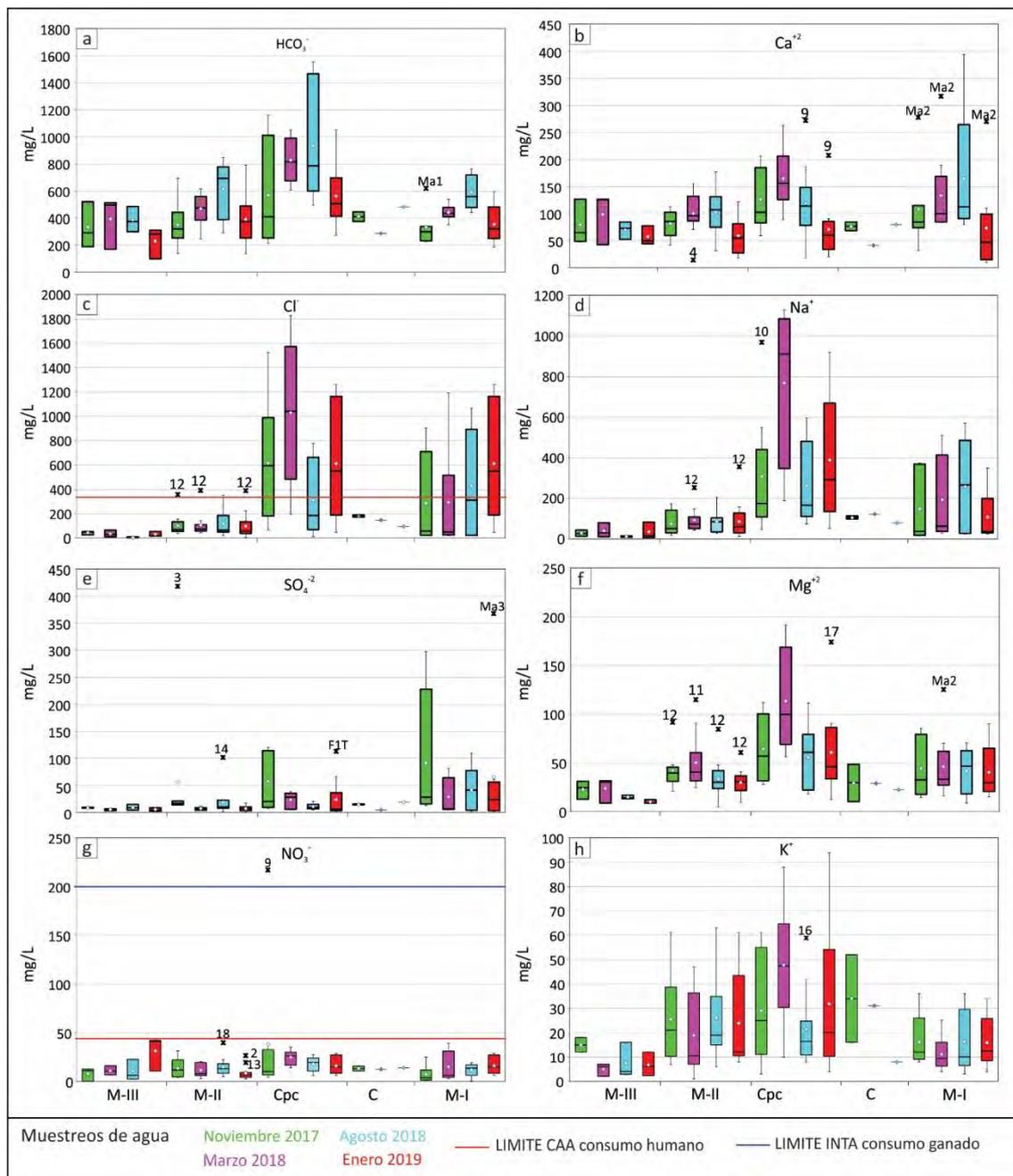


Figura 4.5.10. Gráfico de cajas y bigotes de iones mayoritarios, en el Sector Central del área de estudio para cada geomorfología y periodo muestreado. M-III: médanos sobreimpuestos al cordón actual; M-II: médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales; Cpc: crestas de playa en actualmente zonas continentales; M-I: mantos arenosos; C: cañadas en los bajos intercrestaes. Se marcan en línea azul y roja solo en aquellos gráficos donde los valores correspondientes a los límites de CAA (2012) e INTA (Luque, 2018) fueron superados para cada ion en particular.

4.5.1.3. Sector Norte

Las unidades geomorfológicas relevadas aquí corresponden al área de crestas de playa ubicadas en zonas intermareales (Cpi). Asimismo, se han extraído muestras de agua superficial directamente del agua de mar (M), el canal de marea (Cm), la laguna secundaria (LS) y laguna principal (LP) y de aguas subterráneas a partir de freáticos someros realizados en los bajos intermareales (Bi) y crestas de playa ubicadas en zonas intermareales (Cpi). Los muestreos corresponden a noviembre-17, marzo-2018, agosto-18 y enero-19.

Según las mediciones de CE y pH obtenidas en los 4 muestreos realizados, se observa que tanto el agua superficial como subterránea presentan marcadas variaciones. Respecto de la CE promedio del agua superficial, ésta es mayor (34873 $\mu\text{S}/\text{cm}$) que la registrada en el agua subterránea (17612 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (Anexo Tabla V y X). Por otro lado, dentro del agua superficial existe un gradiente en las CE desde el agua de mar (que varía entre 19650 y 31400 $\mu\text{S}/\text{cm}$) que ingresa por el canal de marea (19000 - 42600 $\mu\text{S}/\text{cm}$) hacia la laguna principal (19000 - 49900 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y laguna secundaria donde se registra los valores más altos que fluctúan entre 15820 y 53700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Anexo Tabla V). En estas si bien se caracterizan por ser aguas saladas pueden alcanzar carácter de salmuera (Figura 4.5.11, Anexo Tabla X). Con respecto al agua subterránea, la CE en Bi fluctúa entre 3050 y 37700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y disminuye hacia Cpi donde se registran las menores CE que varían entre 1843 y 11100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Anexo Tabla V), alojando estas unidades tanto agua dulce como salobre y salada (Figura 4.5.11, Anexo Tabla X). Asimismo, se destaca que las menores CE coinciden con los sitios de mayores cotas topográficas.

Por su parte, el pH tanto en el agua superficial como en el agua subterránea registra valores neutros a alcalinos. En el agua superficial varía entre 7,4 y 9,1 y en el agua subterránea entre 7,1 y 8,5 (Anexo Tabla X).

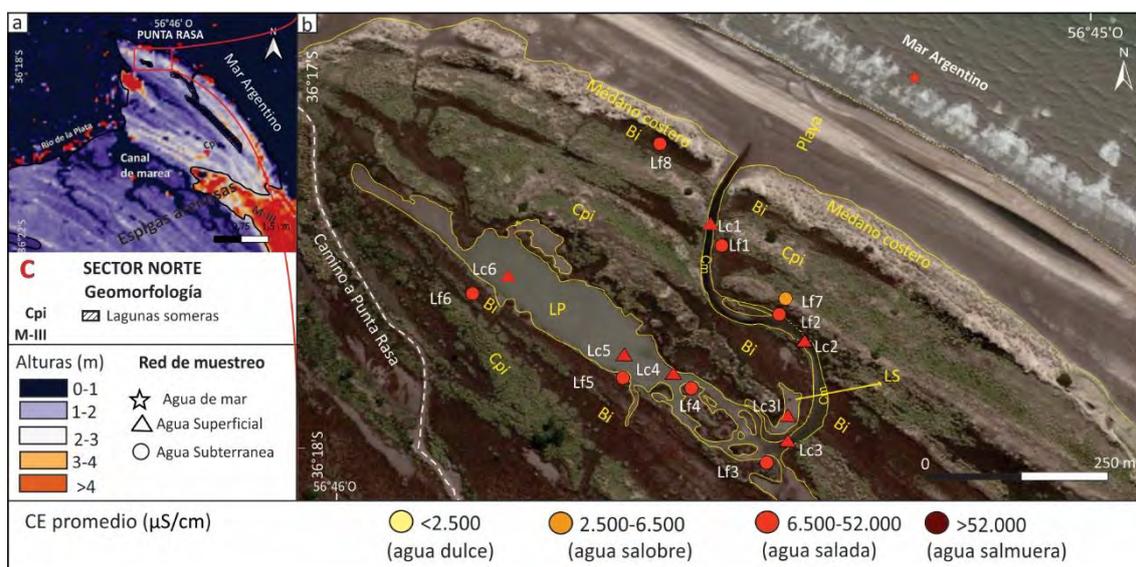


Figura 4.5.11. a- TanDEM X-90m del Sector Norte; b- Imagen satelital donde se indica la distribución espacial de las CE promedio (considerando todos los muestreos) en el Sector Norte. M: mar, Cm: canal de marea; LS: laguna secundaria; LP: laguna principal; Cpi: crestas de playa en zonas intermareales; Bi: bajos intermareales.

Si se compara la CE y pH entre los 4 muestreos, ambos parámetros exhiben marcadas variaciones entre el agua superficial y subterránea, siendo esta última la que presenta mayores rangos intercuantílicos, observándose la mayor variabilidad en Bi (Figura 4.5.12). Asimismo, de dicha figura se desprende que el pH máximo alcanzado en el agua superficial se registra en marzo y agosto-18 con valores de 9,1 y en el agua subterránea, el máximo se obtiene en agosto-18 con un valor de 8,5 (Figura 4.5.12a). Con respecto a las CE, tanto en el agua superficial como subterránea, son mayores en noviembre-17, marzo-18 y enero-19 y disminuyen notablemente en agosto-18 (Figura 4.5.12b).

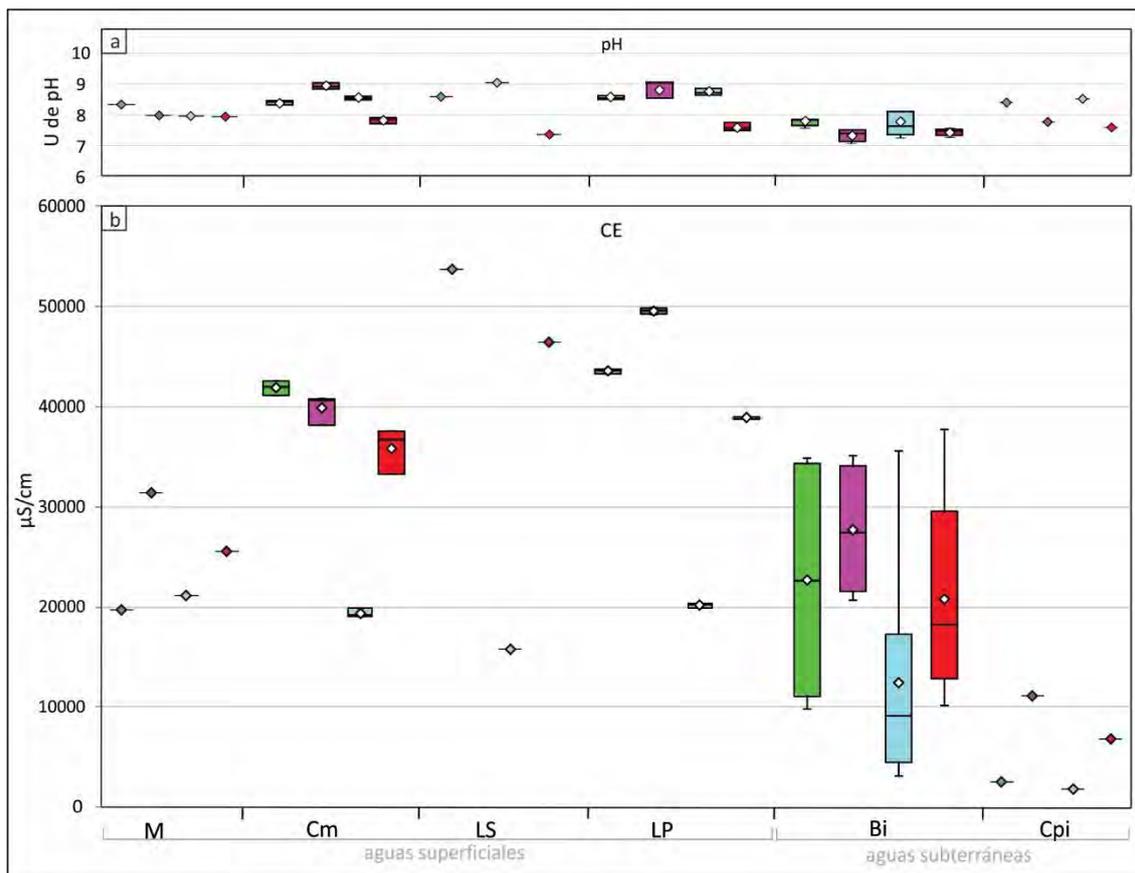


Figura.4.5.12. Gráfico de cajas y bigotes. Representación de la variabilidad de a-pH y b-CE en las unidades del Sector Norte, donde M: mar; Cm: canal de marea; LS: laguna secundaria; LP: laguna principal; Bi: bajos intermareales y Cpi: crestas de playa en zonas intermareales. Los distintos colores se refieren al periodo de muestreo: verde: noviembre-17; violeta: marzo-18; celeste: agosto-18 y rojo: enero-19.

En relación a los iones mayoritarios, los resultados evidencian una tendencia coincidente con el comportamiento registrado en la CE, donde los mayores contenidos iónicos en el agua superficial se presentan en LS, los más bajos en Cm y valores intermedios en LP. En el agua subterránea los mayores contenidos iónicos se registran en Bi (Figura 4.5.13), mientras que en el agua de mar (M) los contenidos iónicos tienen valores intermedios entre las muestras superficiales y subterráneas (Figura 4.5.13). Cabe destacar que la toma de muestra de agua de mar se realizó en un punto ubicado en la confluencia del Río de la Plata y el Mar Argentino, situación que hace que presente salinidades variables.

Las concentraciones iónicas para la mayoría de los muestreos en el agua de mar (M), Cm, LP y LS es $\text{Cl}^- \gg \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$ y $\text{Na}^+ + \text{K}^+ \gg \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ (Figura 4.5.13 y Anexo Tabla V). En Bi la dominancia de los aniones y cationes en el agua subterránea es más variable, destacando sitios donde $\text{Cl}^- \gg \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$ y otros donde se cumple $\text{Cl}^- \gg \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$ (Figura 4.5.13a y c; Anexo Tabla V), registrando un pozo (F6) donde $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ (Figura 4.5.13a; Anexo Tabla V). Respecto a los cationes se cumple que $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$, excepto algunas muestras donde $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ (Figura 4.5.13a y Anexo Tabla V). Con respecto a Cpi, el predominio para los aniones es $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ (Figura 4.5.13b y d, Anexo Tabla V) mientras que en otros $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$ (Figura 4.5.13c, Anexo Tabla V), y para los cationes $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$.

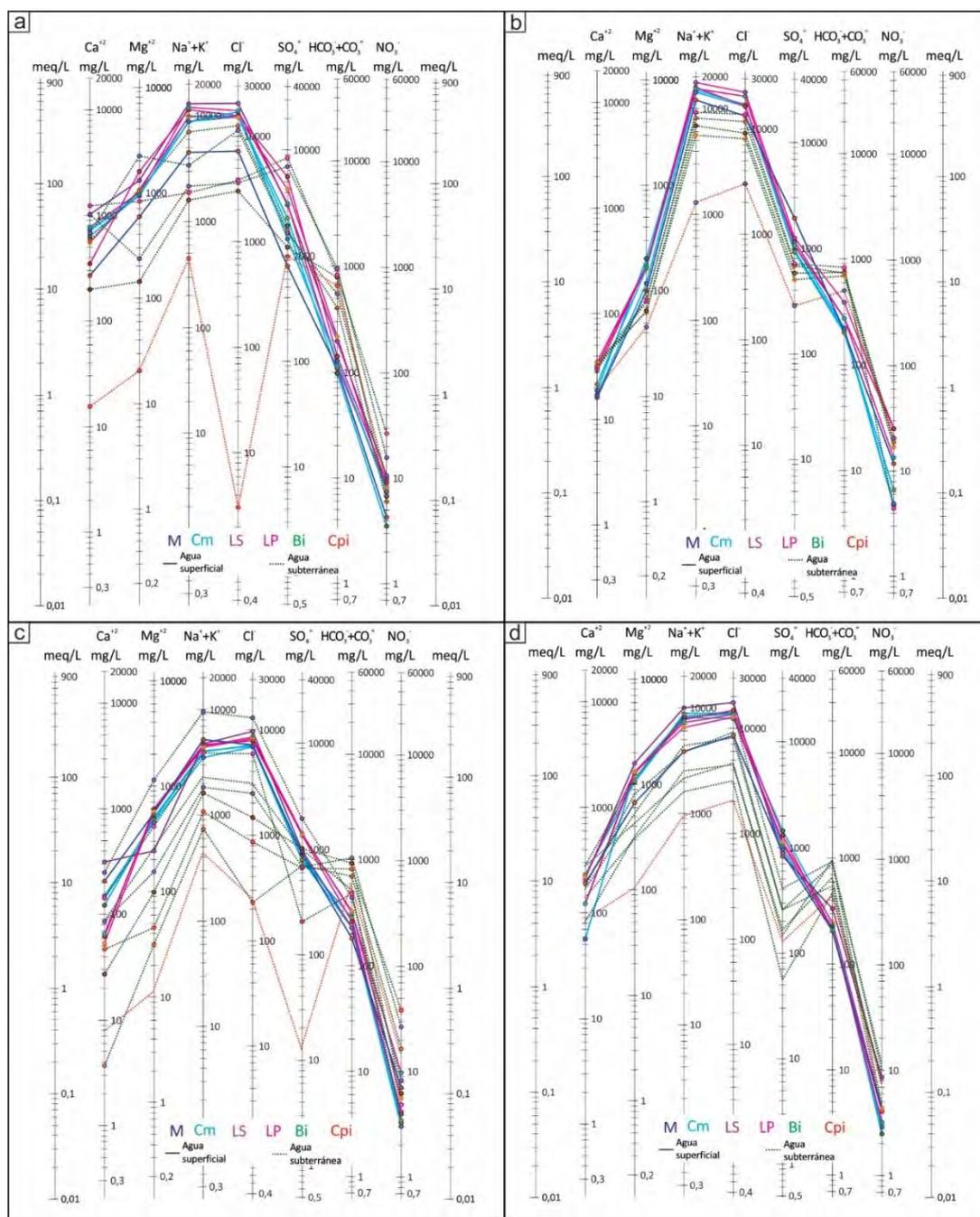


Figura 4.5.13. Diagrama Schoeller-Berckaloff. a- noviembre-17; b-marzo-18; c-agosto-18 y d-enero-19. Los distintos colores corresponden a las unidades geomorfológicas y las distintas rastras al tipo de agua: línea punteada aguas subterráneas, línea continua aguas superficiales. Los colores corresponden a: M: Mar (azul); Cm: Canal de marea (celeste); LS: Laguna secundaria (violeta); LP: Laguna principal (rosa); Bi: bajos intermareales (verde); Cp: cordón de playa (rojo).

En relación a las facies hidroquímicas, el agua superficial, tanto del mar (M) como de Cm, LP y LS presenta un predominio de agua de tipo Na-Cl en los 4 muestreos realizados (Figura 4.5.14). Los iones predominantes presentan concentraciones medias que varían entre 9018 y 15872 mg/L para el Cl^- y entre 6025 y 9275 mg/L para el Na^+ (Anexo Tabla X), registrándose en noviembre-17, marzo-18 y enero-19 valores más elevados en estos iones respecto de agosto-18 (Figura 4.5.15b y 4.5.16c). Se destaca el aumento de Ca^{+2} , SO_4^{-2} y Mg^{+2} en la LP en noviembre-17 (Figura 4.5.15c y 4.5.16ay b).

El agua subterránea en Bi, es principalmente Na-Cl (Figura 4.5.14), a excepción de las muestras Lf5 y Lf6 que en noviembre-17 tienden a facies Na-SO₄ y en agosto-18 la muestra Lf2 presenta facies Na-HCO₃ (Figura 4.5.14a y c). Los iones predominantes poseen concentraciones medias de 7148 mg/L para el Cl⁻, 3831 mg/L para Na⁺, 4251 mg/L SO₄⁻² (para las muestras Na-SO₄) y 702 mg/L para HCO₃⁻, correspondiente a la muestra Lf2 (*Anexo Tabla V y X*). Se destaca la alta variabilidad de los contenidos iónicos en el agua subterránea de esta unidad.

Por último, en el punto analizado en Cpi (Lf7), el agua subterránea se caracteriza por presentar facies de tipo Na-HCO₃ en noviembre-17 y agosto-18 (Figura 4.5.14a y c), mientras que en marzo-18 y enero-19 tienden a ser Na-Cl (Figura 4.5.14b y d). Cabe señalar que esta unidad, presenta los menores contenidos iónicos en todos los muestreos analizados (Figura 4.5.13). La concentración media para el Na⁺ es de 708 mg/L, para el HCO₃⁻ es de 618 mg/L (correspondiente a las facies Na-HCO₃) y para el Cl⁻ es de 2553 mg/L (facies Na-Cl) (*Anexo Tabla V y X*).

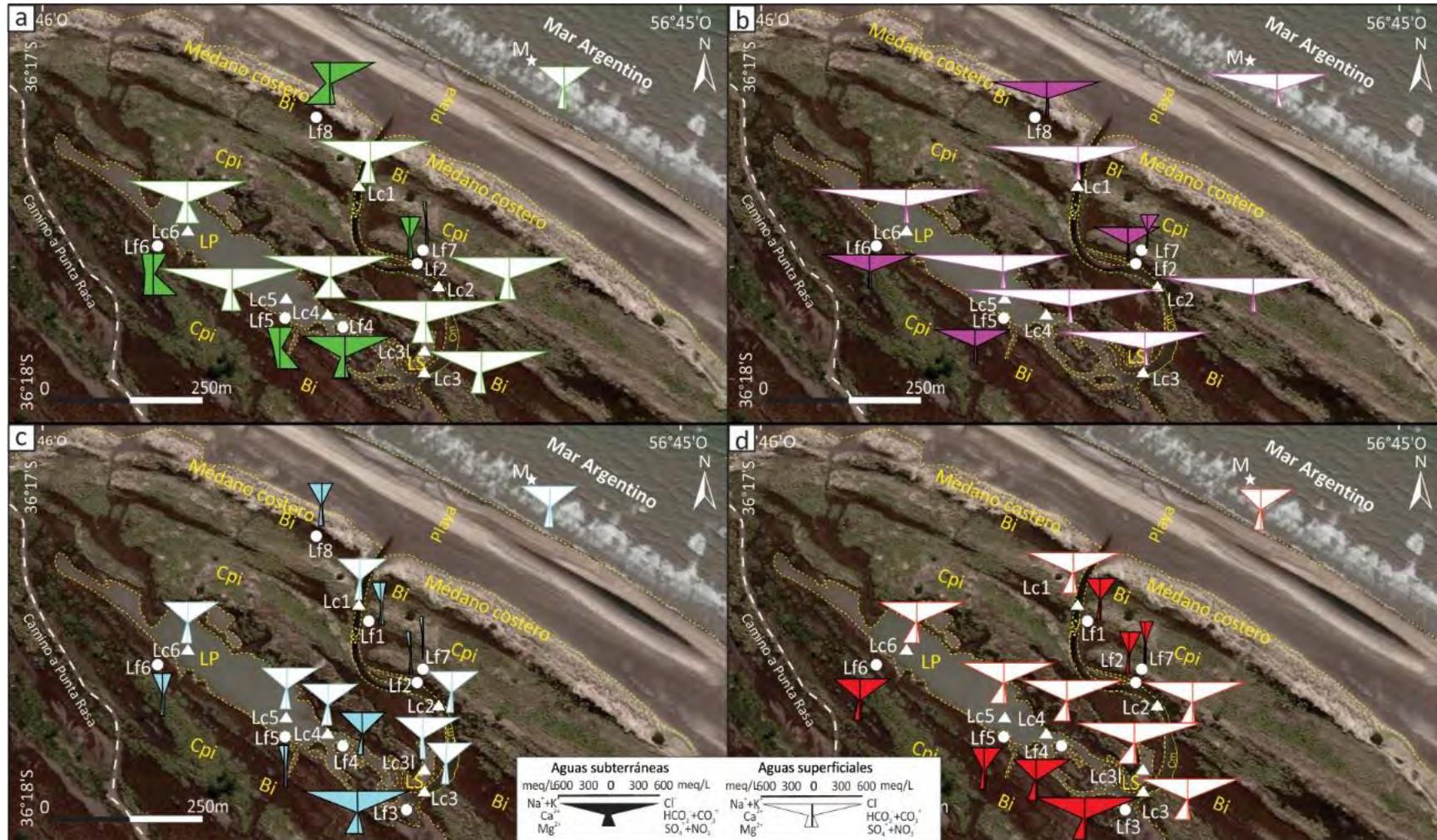


Figura.4.5.14. Diagrama de Stiff. Representación espacial del agua subterránea en los muestreos de a- noviembre-17, b-marzo-18, c-agosto-18 y d-enero-19 en el sector norte del área de estudio. M: mar; Cm: canal de marea; LS: laguna secundaria; LP: laguna principal; Bi: bajos intermareales y Cpi: crestas de playa en zonas intermareales. La estrella representa el mar (M), los triángulos corresponden a aguas superficiales y los círculos a subterráneas

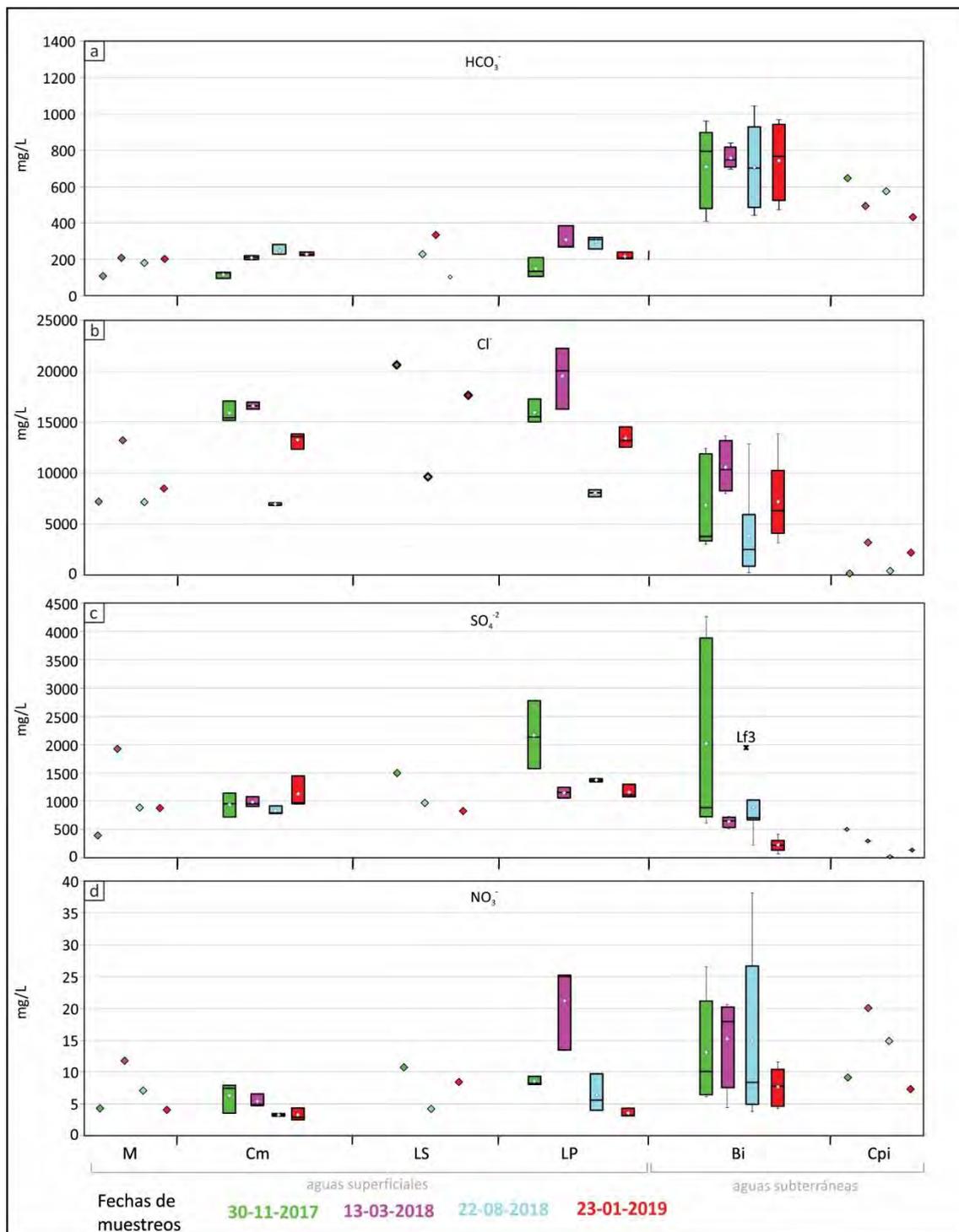


Figura 4.5.15. Gráfico de cajas y bigotes. Representación de la variabilidad de los aniones de las aguas superficiales y subterráneas en las unidades geomorfológicas correspondientes a los muestreos de noviembre-17, marzo-18, agosto-18 y enero-19. M: mar; Cm: canal de marea; LS: laguna secundaria; LP: laguna principal; Bi: bajos intermareales y Cpi: crestas de playa en zonas intermareales.

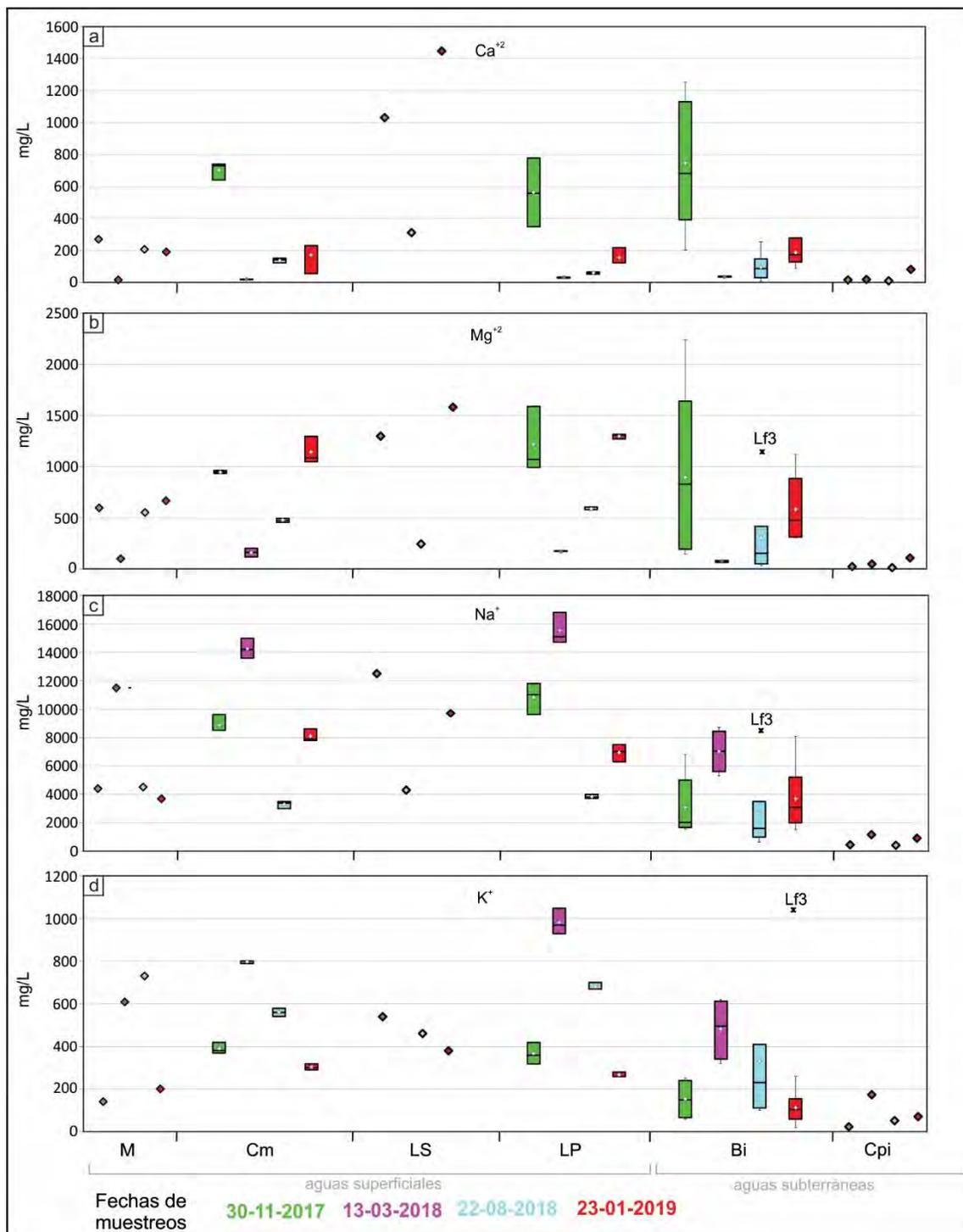


Figura 4.5.16. Gráfico de cajas y bigotes. Representación de la variabilidad de los cationes en las aguas superficiales y subterráneas en las unidades geomorfológicas correspondientes a los muestreos de noviembre-17, marzo-18, agosto-18 y enero-19. M: mar; Cm: canal de marea; LS: laguna secundaria; LP: laguna principal; Bi: bajos intermareales y Cpi: crestas de playa en zonas intermareales.

4.5.2. Análisis integral de facies hidroquímicas

Con el objetivo de identificar, caracterizar y unificar regionalmente los distintos tipos de facies hidroquímicas de acuerdo a los contenidos iónicos porcentuales, se realizó una selección de 51 puntos de muestreos representativa de los 4 monitoreos realizados (Figura 4.5.17).

Para facilitar el análisis de la posible existencia de una relación entre la hidroquímica y la geomorfología se procuró, al momento de elegir la leyenda, otorgarle mayor claridad gráfica. Para ello, las muestras se diferenciaron según la unidad geomorfológica (M-I, M-II, M-III, Cpc, Cpi, y aguas superficiales tomadas de las últimas dos unidades) y el sector de monitoreo al cual pertenecieran.

En los triángulos inferiores del diagrama de Piper-Hill se observa que existe una gran variación en los cationes disueltos en el agua mientras que en los aniones dominan facies bicarbonatadas a cloruradas (Figura 4.5.17). Las mayores variaciones en los porcentajes aniónicos se registran en el agua del Sector Norte, existiendo monitoreos donde los porcentajes de SO_4^{2-} se incrementan (Figura 4.5.17a y c) a valores cercanos al 50%, mientras que en los Sectores Sur y Central se encuentran mayormente en porcentajes menores al 10%.

En relación a las facies hidroquímicas, en la figura 4.4.21. se pueden identificar a grandes rasgos 3 facies dominantes, Ca- HCO_3 representadas por los depósitos eólicos M-I, M-II y M-III, otra Na-Cl representada por las aguas subterráneas y superficiales correspondientes a las Cpi y situaciones intermedias representadas por las Cpc, las cuales se mostraron más variables en sus contenidos iónicos en los 4 muestreos analizados.

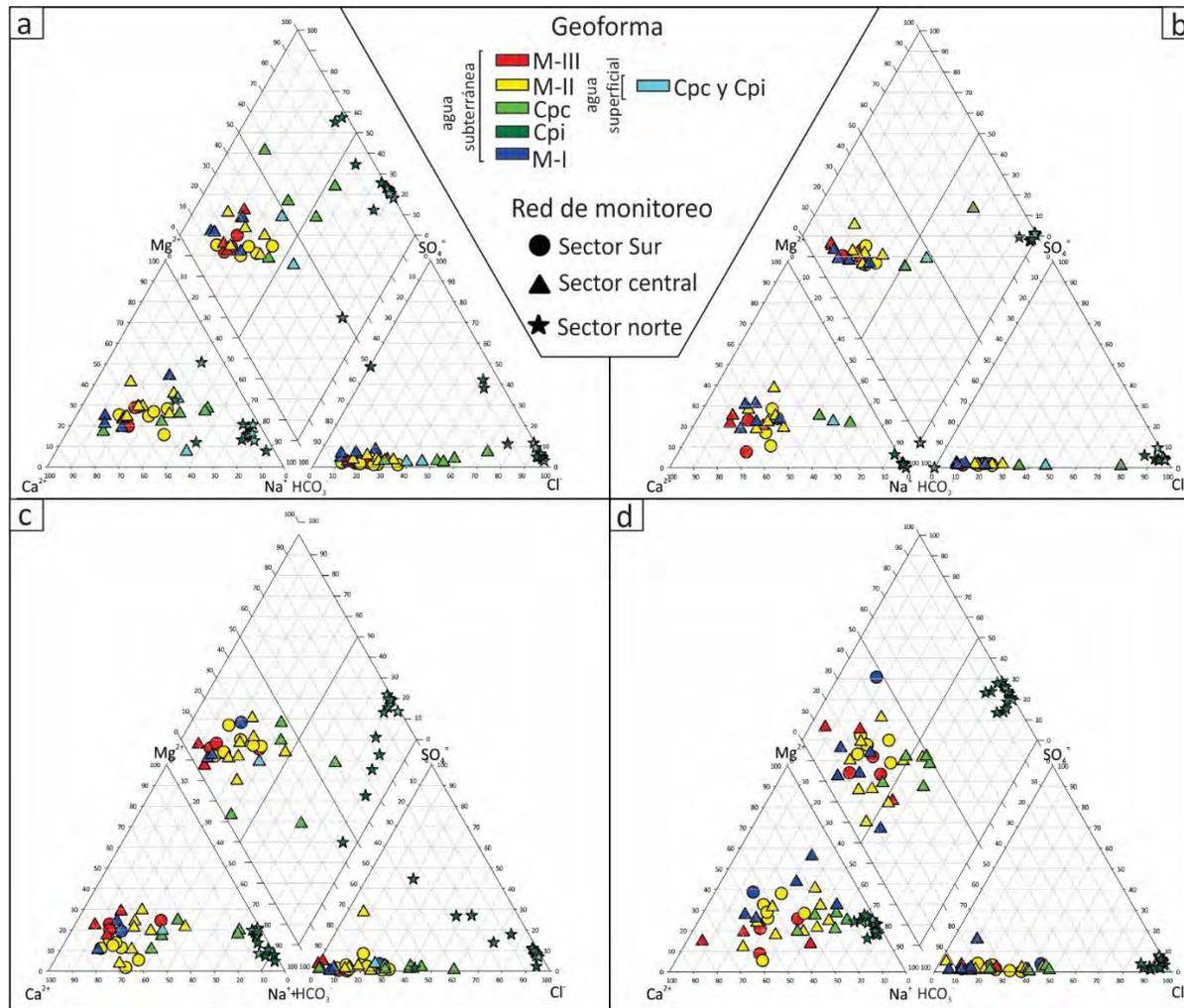


Figura 4.5.17. Diagrama de Piper-Hill de muestras representativas en periodos hidrológicos contrastantes correspondientes a: a- muestreo noviembre-17, b- marzo-18, c-agosto-18 y d- enero-19. Unidades geomorfológicas: M-III: médanos sobreimpuestos al cordón actual; M-II: médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales; M-I: mantos arenosos; Cpc: crestas de playa actualmente zonas continentales; Cpi: crestas de playa en zonas intermareales.

4.5.3. Análisis de isótopos estables de la molécula de agua

En este apartado se analizarán los isótopos estables de la molécula del agua y su relación tanto con la geomorfología como con las CE y contenidos de cloruro en agua, con la finalidad de identificar procesos de recarga por infiltración del agua de lluvia, mezcla de aguas y procesos de disolución-alteración mineral. Las muestras de agua analizadas corresponden al muestreo de enero-19 de los Sectores Central y Norte (Tabla 4.5.3), las cuales fueron elegidas con la finalidad de cubrir todas las geomorfologías definidas en el área de estudio.

Sector	Geoforma	Procedencia	Muestra	$\delta^{18}\text{O}\text{‰}$	$\delta^2\text{H}\text{‰}$	pH	T°C	CE $\mu\text{S}/\text{cm}$	Cl ⁻ meq/L
CENTRAL	MIII	subterránea	MDT1	-5,30	-28,0	7,26	22,10	622	1,51
			MDT2	-6,15	-34,0	7,48	22,10	380	0,52
			MDT3	-4,60	-18,5	7,26	22,10	508	0,56
	MII		12	-4,35	-23,0	7,68	21,80	1888	11,04
			13	-4,25	-23,0	7,47	21,80	914	4,17
			FC	-5,45	-29,5	7,76	22,10	838	0,87
	Cpc		F1T	-1,60	-6,5	7,66	22,00	997	21,89
			9	-2,35	-11,5	7,54	21,90	3390	21,73
			10	-3,00	-15,5	7,64	21,80	5100	35,54
NORTE	M	superficial	M	-2,00	-8,0	7,93	21,10	25500	239,33
			Cm	-0,65	-3,5	7,90	21,10	36700	390,67
			LP	-0,15	0,0	7,75	21,10	35047	356,67
	Cpi	subterránea	LF1	-3,80	-19,0	7,50	21,10	13710	125,33
			LF2	-4,15	-20,0	7,44	21,00	10130	89,33
			LF3	-1,85	-8,0	7,24	21,00	37700	392,00
			LF4	-2,65	-12,5	7,34	21,10	26900	255,33
			LF5	-3,80	-19,0	7,46	21,10	15360	130,67
			LF6	-2,75	-13,0	7,55	21,10	21100	226,67
			LF7	-4,45	-21,0	7,61	21,20	6770	58,00
		CP							

Tabla 4.5.3. Valores isotópicos obtenidos en los Sectores Central y Norte del área de estudio, para el muestreo de enero-19. Unidades geomorfológicas: M-III: médanos sobreimpuestos al cordón actual; M-II: médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales; Cpc: crestas de playa actualmente zonas continentales; Cpi: crestas de playa en zonas intermareales donde, las muestras de agua superficial corresponden a M: mar; Cm: canal de marea; LP: laguna principal; y las subterráneas a Bi: bajos intermareales y Cpi: crestas de playa en zonas intermareales.

Los valores isotópicos en el agua subterránea varían entre -6,15 y -1,60‰ en $\delta^{18}\text{O}$ y entre -34,0 y -6,5‰ en $\delta^2\text{H}$, mientras que en el agua superficial lo hacen entre -2,00 y -0,15 ‰ y entre -8,0 y -0,0‰ en $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$, respectivamente (Tabla 4.5.3.).

En el gráfico de $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ vs. $\delta^2\text{H}\text{‰}$ (Figura 4.5.18.) se observa que las muestras de M-II y M-III se ubican en torno a la recta meteórica local, $\delta^2\text{H}\text{‰} = 8 * \delta^{18}\text{O}\text{‰} + 14$ definida por Dapeña y Panarello (2004). Por su parte, las muestras de Cpc, Cpi y Bi se desvían de la recta meteórica local alineándose en torno a una recta de evaporación/mezcla ($\delta^2\text{H}\text{‰} = 4,8 * \delta^{18}\text{O}\text{‰} + 0,65$). Dentro de esta recta los mayores enriquecimientos se observan en las muestras de agua superficial del Sector Norte, presentando las muestras del canal de marea y la laguna principal enriquecimientos mayores a los registrados en el agua de mar de ese sector (Tabla 4.5.1).

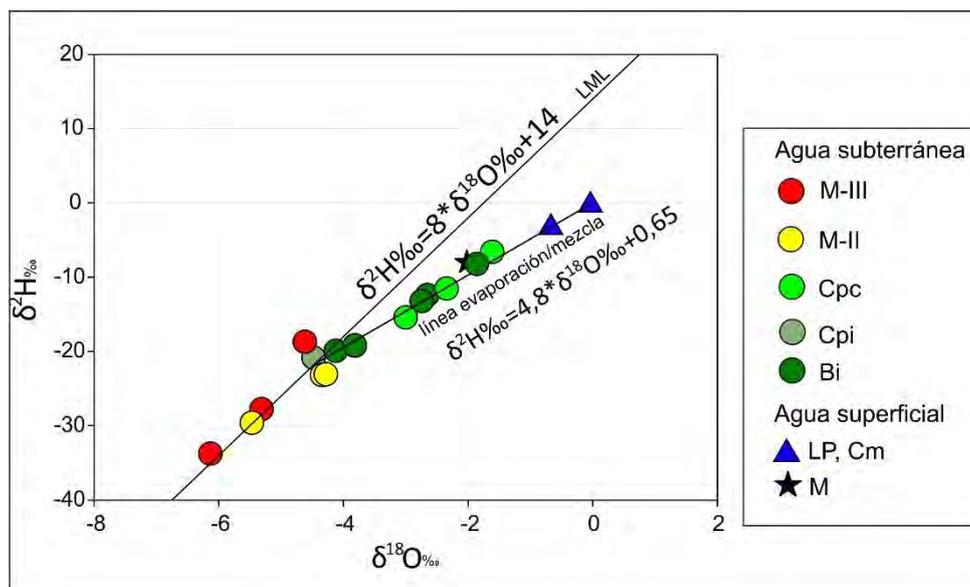


Figura 4.5.18. Diagrama de dispersión $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ vs. $\delta^2\text{H}\text{‰}$. Valores isotópicos obtenidos en el Sector Central y Norte del área de estudio, para el muestreo de enero-19. M-III: médanos sobreimpuestos al cordón actual; M-II: médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales; Cpc: crestas de playa actualmente zonas continentales; Cpi: crestas de playa en zonas intermareales.; LP: laguna principal; Cm: canal de marea; M: mar.

En la relación entre $\delta^{18}\text{O}$ vs. CE se identifican distintas tendencias, las cuales fueron graficadas por separado dado que la diferencia de CE entre algunas muestras impedía observar correctamente la señal química de cada unidad (Figura 4.5.19). Para las muestras de menor CE (Figura 4.5.19a), correspondientes al Sector Central, se observa que las unidades M-II y M-III presentan CE menores a $1888 \mu\text{S}/\text{cm}$ asociadas a un leve enriquecimiento isotópico, existiendo en una de las muestras de M-II un aumento en la CE con tendencia a la disolución de sales. Esta tendencia también se aprecia en el gráfico de $\delta^{18}\text{O}$ vs. Cl^- (Figura 4.5.19c), lo que estaría indicando que existe un aumento de CE vinculado a la disolución de halita. Por su parte, las muestras de Cpc presentan mayores enriquecimientos isotópicos, observándose en dos de ellas un aumento en la CE y Cl^- asociado a tendencias de disolución de sales también de tipo halita (Figura 4.5.19a y c). Para las muestras de mayor CE, todas ellas del Sector Norte, se observa que la CE y Cl^- se incrementan junto con un enriquecimiento isotópico (Figura 4.5.19b y d), siguiendo una tendencia de mezcla de agua. Dentro de esta mezcla el extremo de menor CE y Cl^- es el isotópicamente menos enriquecido y representa al agua meteórica, y el extremo de mayor CE y Cl^- es el isotópicamente más enriquecido y representa al agua mareal (Figura 4.5.19b y d). Respecto de las muestras de agua subterránea, las Cpi presentan menor enriquecimiento isotópico y CE en comparación con las muestras de Bi. Asimismo, aquellas de mayor CE se desvían levemente de la recta de mezcla registrando un aumento en la CE y Cl^- sin variación isotópica (Figura 4.5.19b y c). Esto estaría indicando que en estas muestras existe no solo mezcla con agua mareal, sino también disolución de sales de tipo halita. Por su parte, en las muestras de la laguna principal el aumento en CE acompaña la recta de mezcla lo que podría indicar distintos aportes de agua marina desde el canal de marea, debido a que esta zona es un área de mezcla entre el estuario exterior del Río de la Plata y el mar.

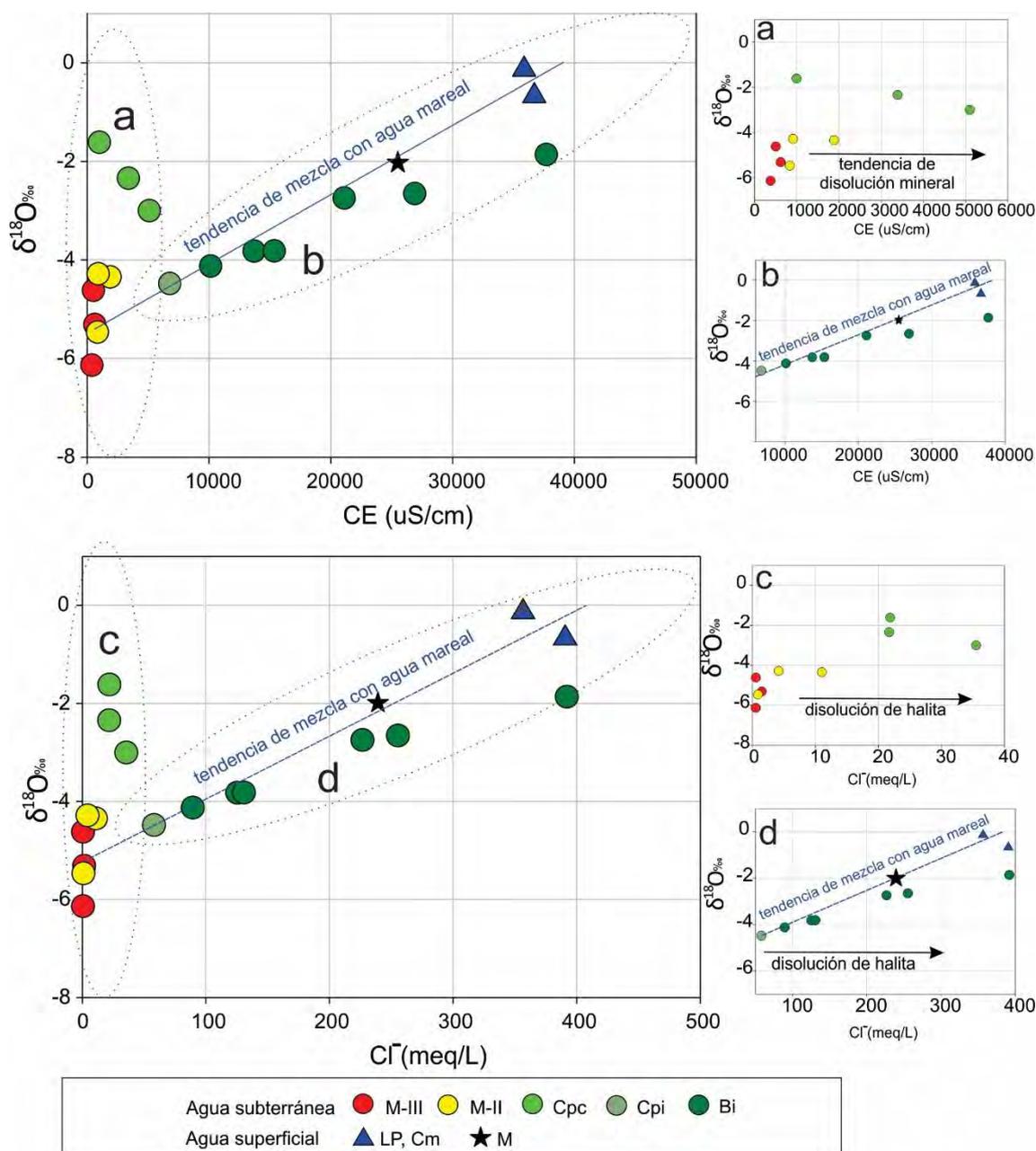


Figura 4.5.19. Diagrama de dispersión $\delta^{18}O$ (‰) vs CE ($\mu S/cm$) para el muestreo de enero-19. Donde a- representa los valores obtenidos en el Sector Central y b- representa los valores obtenidos en el sector Norte. M-III: médanos sobreimpuestos al cordón actual; M-II: médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales; Cpc: crestas de playa actualmente zonas continentales; Cpi: crestas de playa en zonas intermareales; LP: laguna principal; Cm: canal de marea; M: mar.

4.5.4. Relaciones iónicas

Si se analiza la variación en los contenidos iónicos en función de la CE en las muestras del Sector Sur se observa que los iones Na^+ y Cl^- son los que presentan una tendencia más marcada al aumento en sus concentraciones conforme aumenta la CE (Figura 4.5.20a, b). Tendencias al aumento en el contenido iónico con la CE menos marcadas se aprecian también en Ca^{+2} y HCO_3^- (Figura 4.5.20 c, f). Por su parte, las muestras de los Sectores Central y Norte evidencian que los iones Na^+ , Cl^- y Mg^{+2} son los que presentan un notable aumento en sus concentraciones con el aumento de CE (Fig. 4.5.21a, b, e y Figura 4.5.22a, b, e), presentando el Sector Norte también una leve tendencia al aumento de K^+ conforme se incrementa la CE (Figura 4.5.22g).

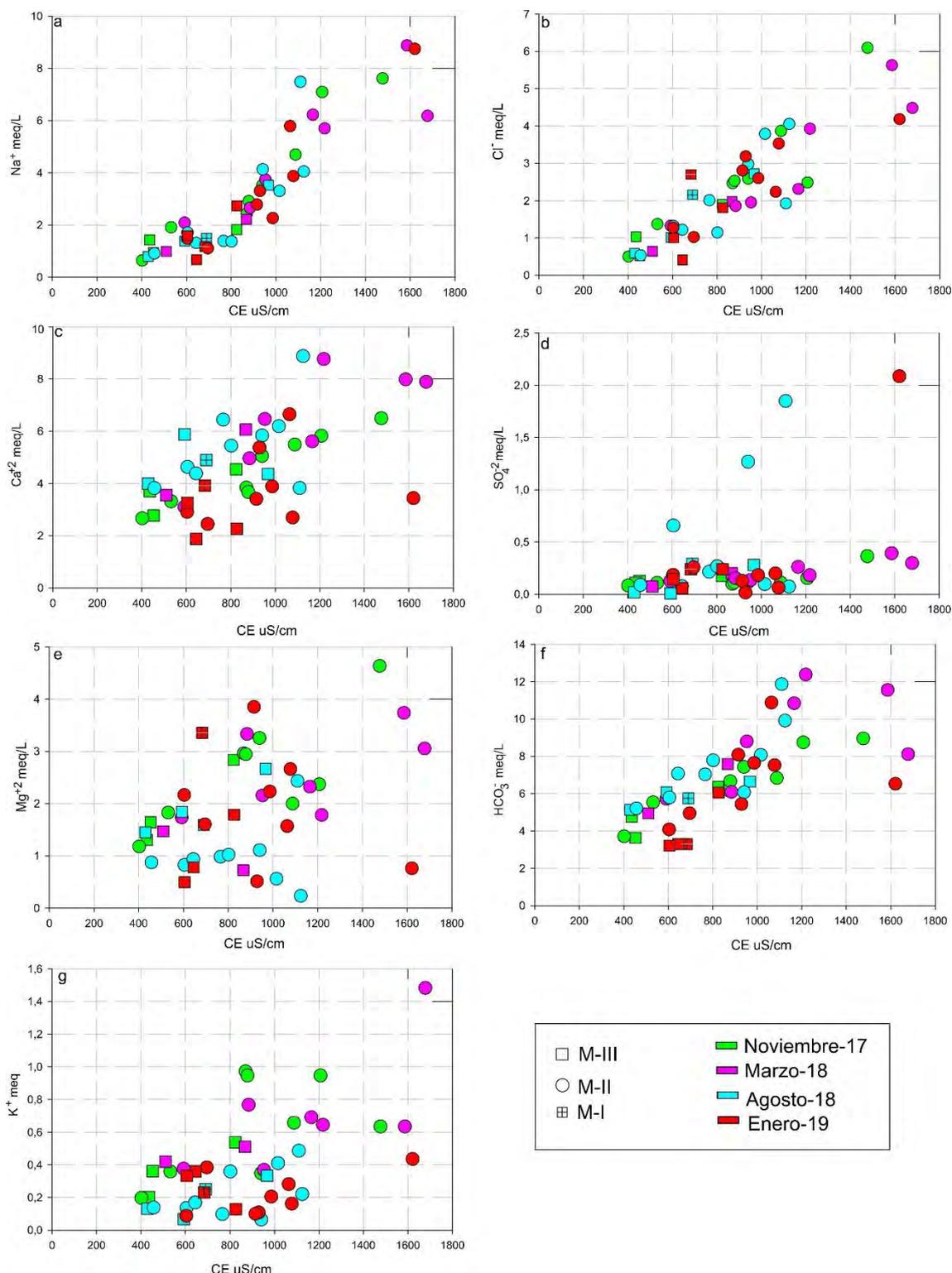


Figura 4.5.20. Relación iones mayoritarios vs CE en las muestras del Sector Sur. M-III: médanos sobreimpuestos al cordón actual; M-II: médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales; M-I: mantos arenosos.

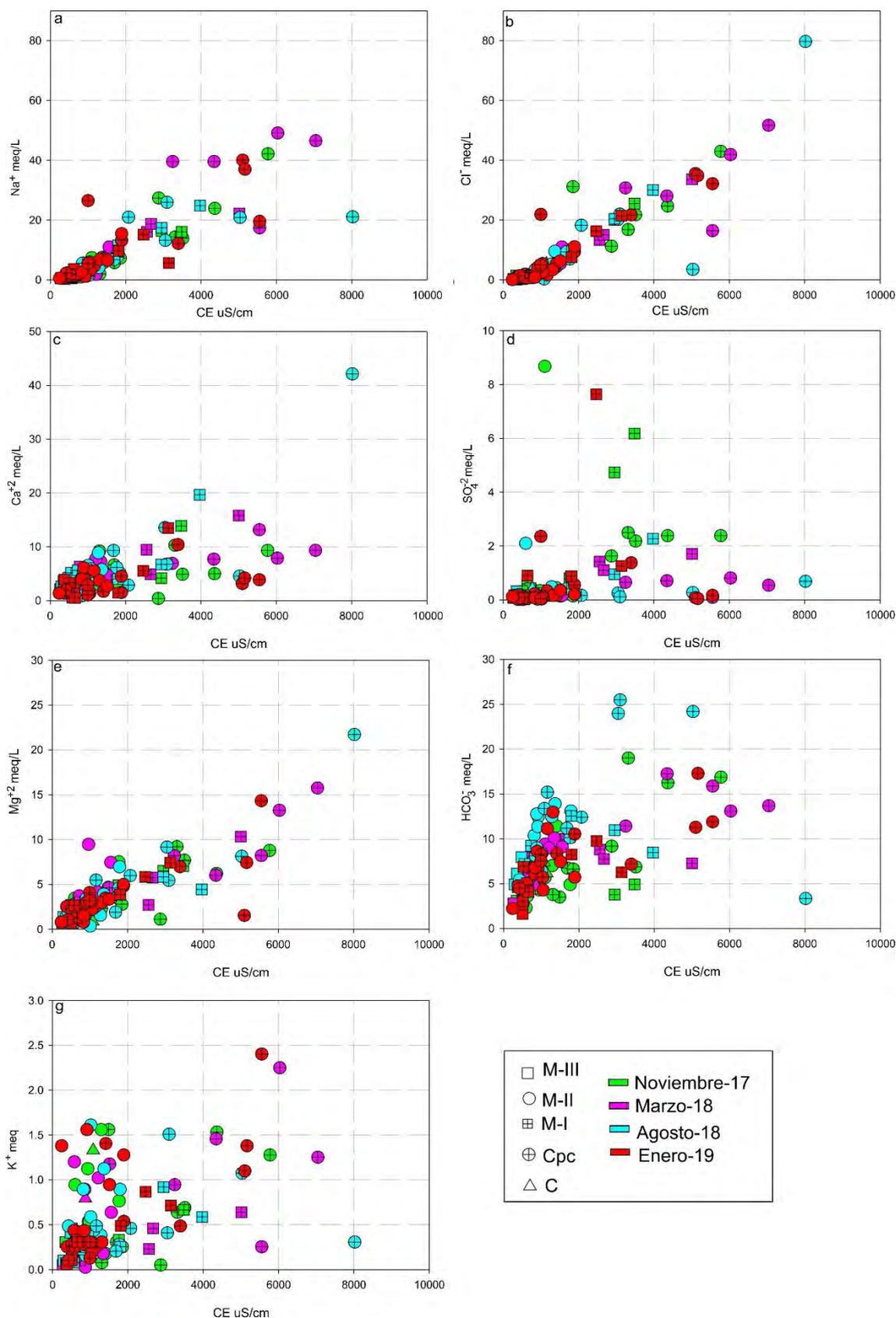


Figura 4.5.21. Relación iones mayoritarios vs CE en las muestras del Sector Central. M-III: médanos sobreimpuestos al cordón actual; M-II: médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales; M-I: mantos arenosos; Cpc: crestas de playa actualmente zonas continentales; C: agua superficial de bajos intercretales.

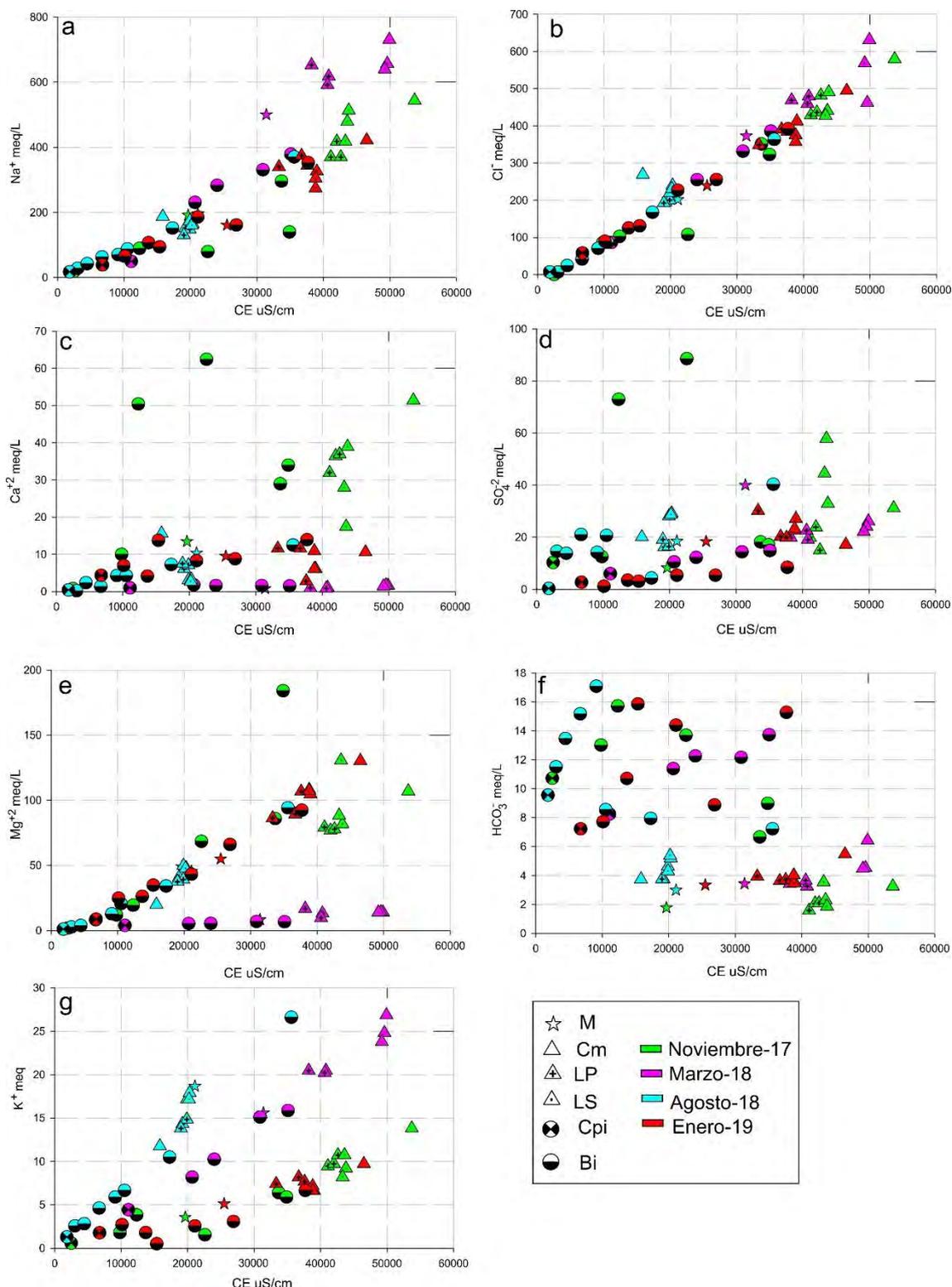


Figura 4.5.22. Relación iones mayoritarios vs CE en las muestras del Sector Norte. M: mar; Cm: canal de marea; LP: laguna principal; LS: laguna secundaria; Cpi: crestas de playa en zonas intermareales; Bi: bajos intermareales.

Asimismo, al analizar los procesos geoquímicos determinantes de la química mayoritaria a partir de gráficos de Galliardet (1999) se aprecia que en los Sectores Sur y Central los procesos dominantes son la alteración de silicatos y disolución de carbonatos (Figura 4.5.23a, b). En el Sector Norte en cambio las muestras de agua subterránea se desvían hacia las relaciones del

agua de mar con tendencias asociadas a disolución de evaporitas y en menor medida silicatos (Figura 4.5.23c).

En cuanto a los aportes desde las fases minerales silicatadas y carbonatadas, la relación Ca^{+2} vs. Sr (Figura 4.5.23d, e y f) muestra que en el Sector Sur la disolución de silicatos y carbonatos ocurren en igual medida (Figura 4.5.23d), a diferencia del Sector Central donde la disolución de carbonatos domina por sobre la de silicatos, características propias de las reacciones químicas, siendo los carbonatos minerales de mayor solubilidad (Figura 4.5.23 e). Por su parte en el Sector Norte, hay una tendencia de disolución de carbonatos (Figura 4.5.23f).

Sin embargo, es importante considerar que las relaciones molares de Galliardet pueden desviarse de las tendencias esperadas producto de procesos de intercambio catiónico. Si se analizan en detalle estos procesos a partir de los excesos/deficiencias de Na^+ y de $Ca^{+2} + Mg^{+2}$ (Figura 4.5.23g, h, i) se aprecia que algunas de las muestras se alinean en torno a la recta 1:1 lo que indica que el proceso de intercambio podría estar condicionando la química mayoritaria, no obstante, la dominancia de arenas en los sedimentos daría lugar a que no fuera un proceso relevante.

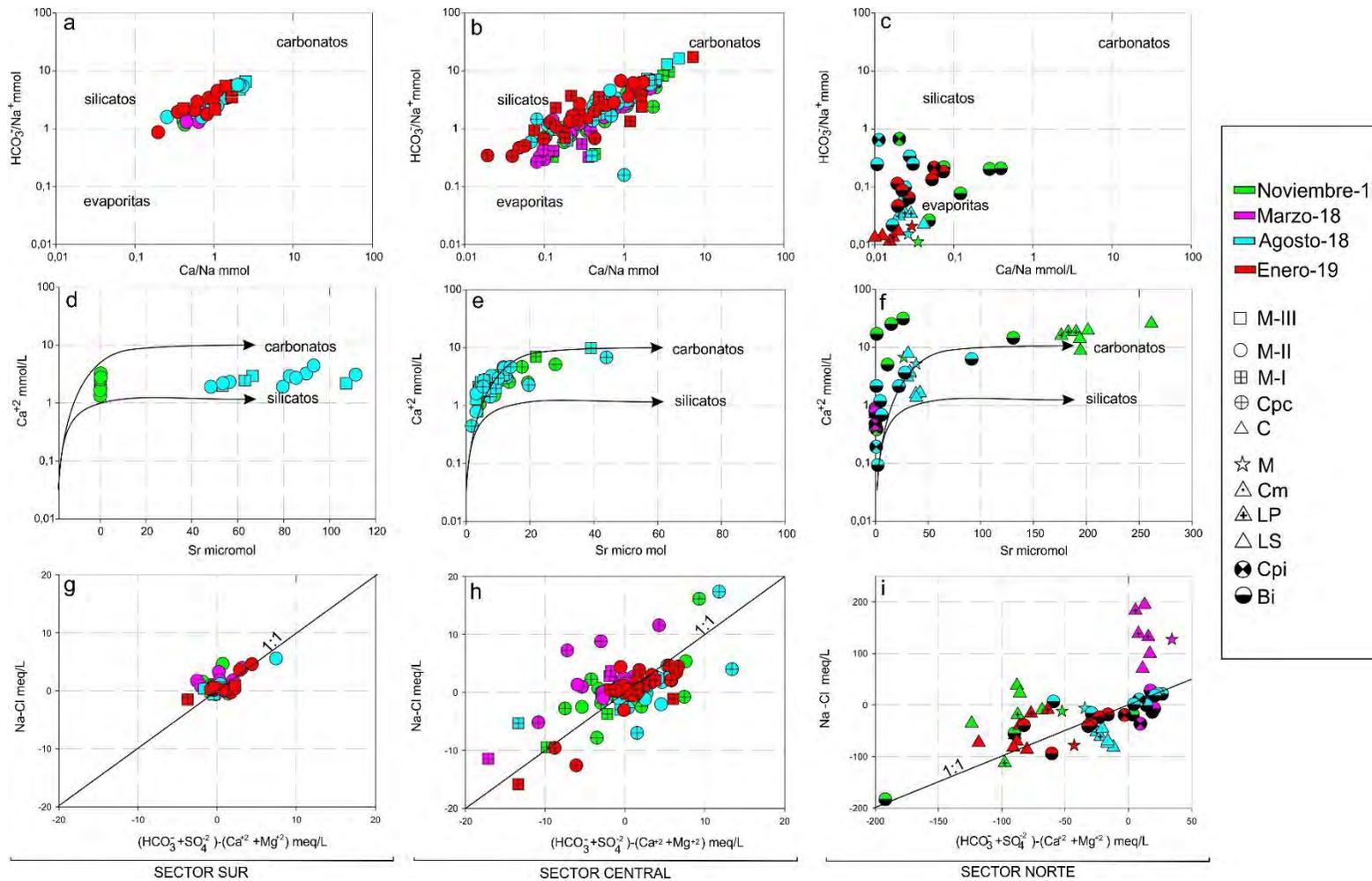


Figura 4.5.23. Relaciones iónicas de elementos mayoritarios en el Sector Sur (a, d, g), Central (b, e, h) y Norte (c, f, i). Donde a, b y c corresponden a gráficos de Galliardet; d, e y f Relaciones molares Ca^{2+}/Sr ; g, h, i gráficos de intercambio catiónico. M-III: médanos sobrepuestos al cordón actual; M-II: médanos sobrepuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales; M-I: mantos arenosos; Cpc: crestas de playa actualmente zonas continentales; C: bajos intercrestaes; Cpi: crestas de playa en zonas intermareales; M: mar; LP: laguna principal; LS: laguna secundaria; Cm: canal de marea; Bi: bajo s intermareales.

Las relaciones iónicas asociadas a facies carbonatadas muestran en el Sector Sur una leve tendencia a la disminución de la relación $\text{Ca}^{+2}/\text{HCO}_3^-$ a medida que aumentan los contenidos de HCO_3^- (Figura 4.5.24a). El incremento en HCO_3^- se asocia a una saturación en calcita (Figura 4.5.24b) observándose asimismo que las muestras sobresaturadas en calcita registran pH principalmente neutros a levemente alcalinos (entre 7,8 y 8,3) (Figura 4.5.24c) lo que indica que la saturación se produce principalmente por la concentración iónica y no por el pH. Por otra parte, algunas de las muestras de este sector también se encuentran saturadas en dolomita, pudiendo ser esta otra fase mineral que reprecipite (Fig. 4.5.24d).

En el Sector Central las relaciones iónicas asociadas a facies carbonatadas muestran al igual que en Sector Sur una leve tendencia a la disminución de la relación $\text{Ca}^{+2}/\text{HCO}_3^-$ respecto al aumento en las concentraciones de HCO_3^- (Figura 4.5.25a), asociado a valores positivos en los índices de saturación en calcita (Figura 4.5.25b). Asimismo, las muestras sobresaturadas en calcita registran pH entre 6,7 y 8,0 (Figura 4.5.25c) indicando que la saturación se produce por la concentración iónica. Por otra parte, las muestras que están sobresaturadas en calcita también lo están en dolomita (Fig. 4.5.25d).

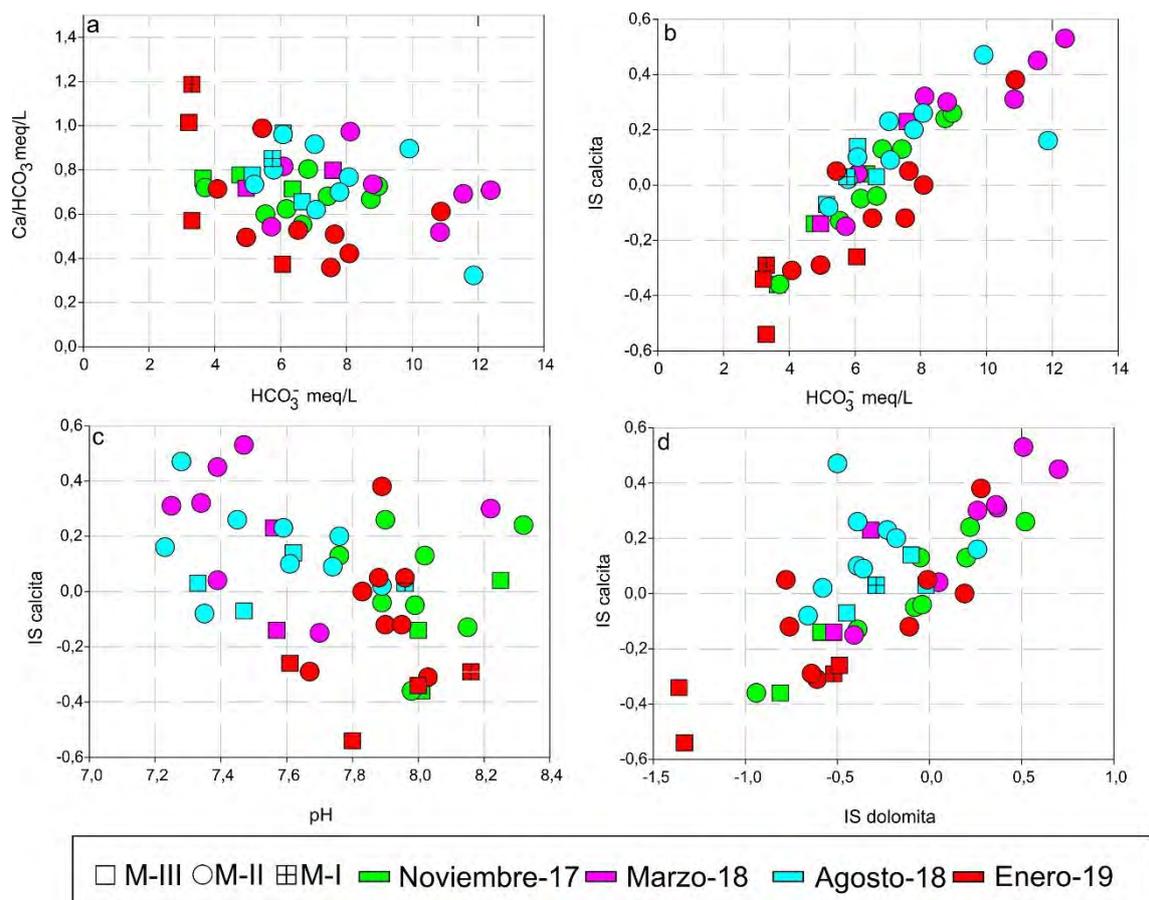


Figura 4.5.24. Relaciones iónicas asociadas a facies carbonatadas en el Sector Sur. M-III: médanos sobreimpuestos al cordón actual; M-II: médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales; M-I: mantos arenosos.

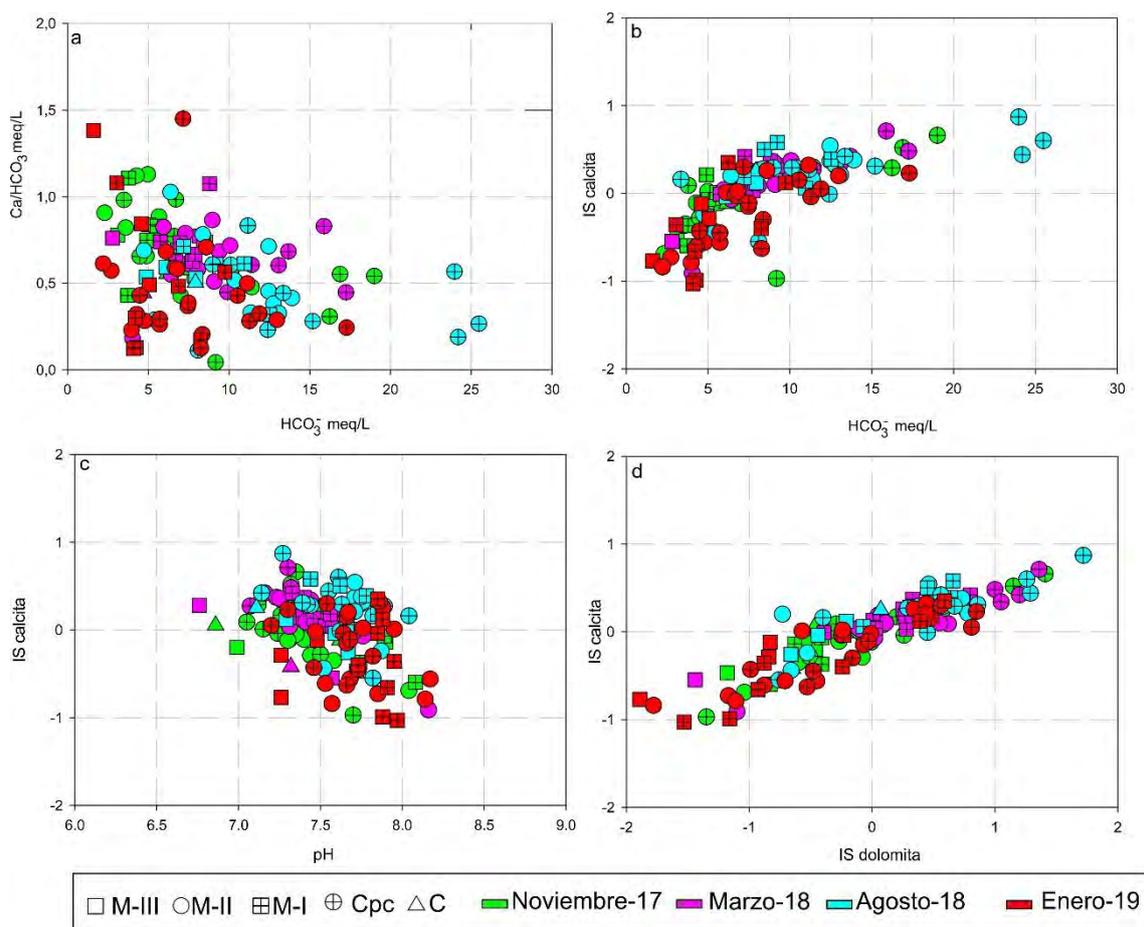


Figura 4.5.25. Relaciones iónicas asociadas a facies carbonatadas en el Sector Central. M-III: médanos sobreimpuestos al cordón actual; M-II: médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales; M-I: mantos arenosos; Cpc: crestas de playa actualmente zonas continentales; C: bajos intercretales.

Con respecto al Sector Norte, la relación $\text{Ca}^{+2}/\text{HCO}_3^-$ varía entre 0,003 y 4,55 en las muestras de agua subterránea registrándose aquí las mayores concentraciones de HCO_3^- , mientras que en el agua de la laguna y del mar dicha relación aumenta y los contenidos de HCO_3^- son inferiores a 20,9 meq/L (Figura 4.5.26a). Respecto de calcita sólo algunas muestras de agua subterránea se encuentran sobresaturadas, siendo éstas las que presentan menores valores de pH (Figura 4.5.25c). La dominancia de Mg^{+2} sobre Ca^{+2} determina que exista un mayor porcentaje de muestras saturadas en dolomita, principalmente las del muestreo efectuado en noviembre-17 y enero-19 (Figura 4.5.25d).

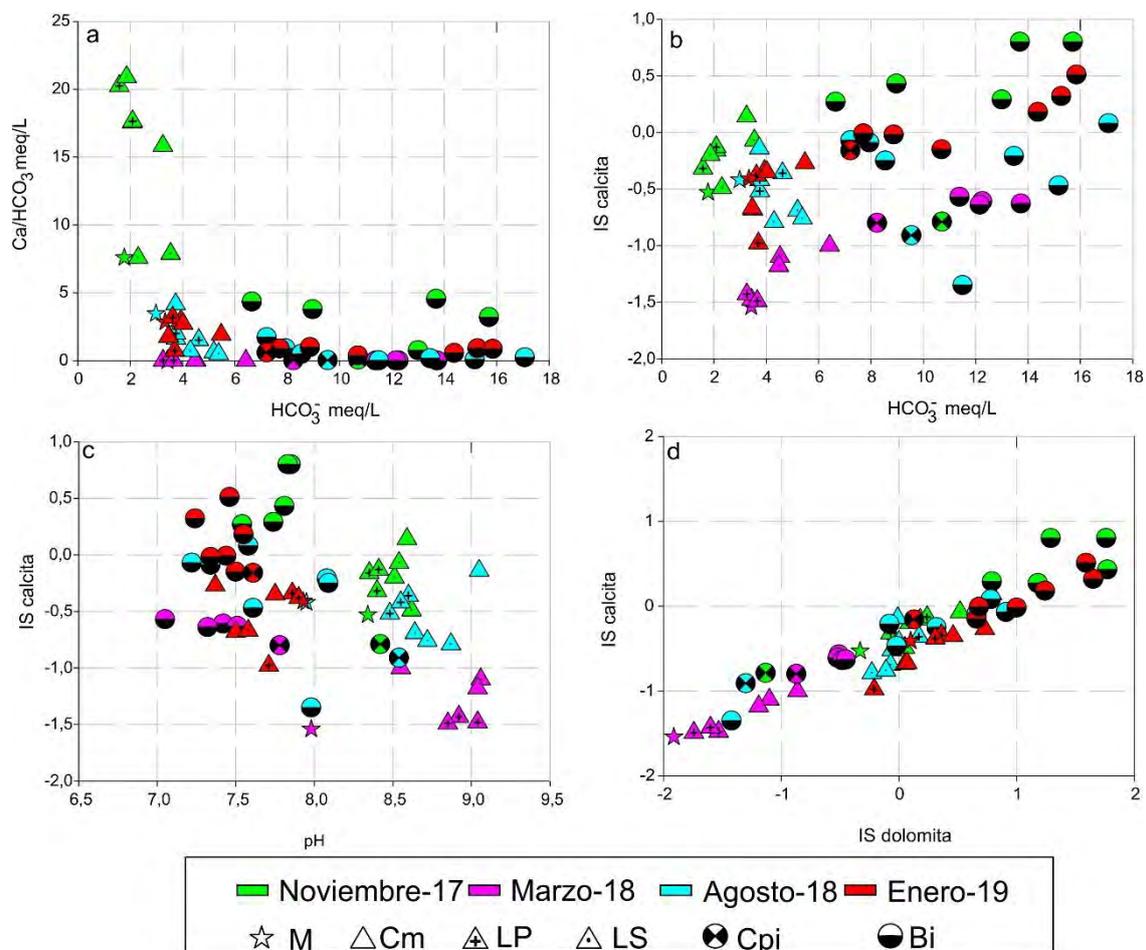


Figura 4.5.26. Relaciones iónicas asociadas a facies carbonatadas en el Sector Norte. M: mar; Cm: canal de marea; LP: laguna principal; LS: laguna secundaria; Cpi: crestas de playa en zonas intermareales; Bi: bajos intermareales.

Las relaciones iónicas asociadas a los aportes de la disolución de sales solubles de tipo yeso y halita fueron analizadas (Figura 4.5.27, 4.5.28 y 4.5.29). Su presencia sólo fue observada en el Sector Norte en forma de precipitados sobre los sedimentos arenosos próximos a los bordes de la laguna costera y canal de marea. No obstante, no se descarta su presencia en pequeñas cantidades en los otros sectores durante los periodos de déficit hídrico producto de la evaporación total del aerosol marino (Carol et al., 2009).

Para el Sector Sur las relaciones Na^+/Cl^- vs Cl^- en algunas muestras se presentan valores cercanos a 1 (Figura 4.5.27a), indicando una posible tendencia a la disolución de halita. Las muestras con mayor contenido en Cl^- también son las que presentan valores menos negativos en los índices de saturación de halita (Figura 4.5.27b). En este sector los valores de SO_4^{2-} respecto de los de Ca^{+2} son bajos (menores a 2,1 meq/L) lo que determina que la relación $\text{Ca}^{+2}/\text{SO}_4^{2-}$ tienda a ser mayor a 1 en la mayoría de las muestras, registrando en las muestras con mayor contenido de SO_4^{2-} los valores menos negativos en los índices de saturación de yeso (Figura 4.27c y d).

Por su parte, en el Sector Central las relaciones Na^+/Cl^- tienden a acercarse a un valor de 1 con el aumento en Cl^- (Figura 4.5.28a), tendencia que indicaría una posible disolución de halita. En estas muestras con mayores contenidos de Cl^- también se registran los valores menos negativos en los índices de saturación de halita (Figura 4.5.28b). Respecto de la relación $\text{Ca}^{+2}/\text{SO}_4^{2-}$ sólo algunas muestras en las que el contenido de SO_4^{2-} es mayor a 1 meq/L (pertenecientes a muestras de Cpc y M-I del muestreo de noviembre-17 principalmente) registran valores $\text{Ca}^{+2}/\text{SO}_4^{2-}$ cercanos a 1 (Figura 4.5.27a). Esta tendencia estaría señalando una posible disolución

de yeso, siendo estas muestras las que presentan valores menos negativos en los índices de saturación de yeso (Figura 4.28c y d).

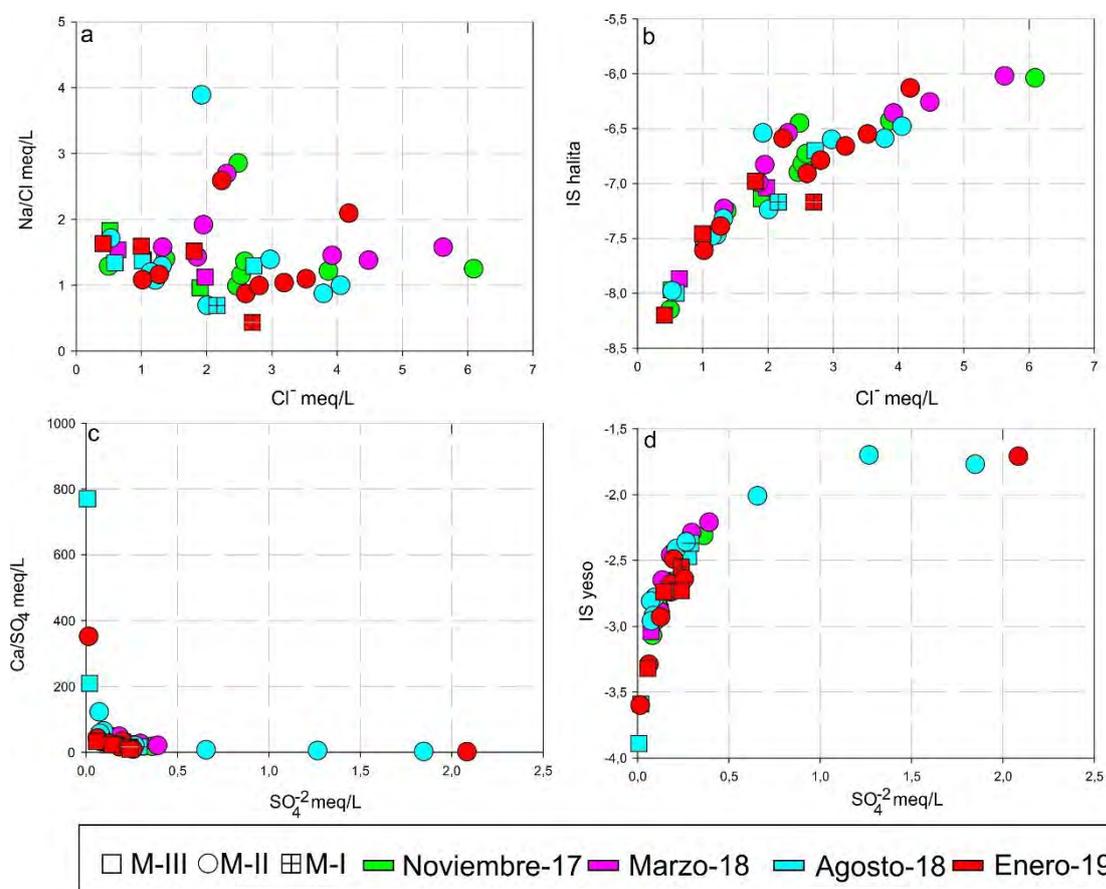


Figura 4.5.27. Relaciones iónicas asociadas a sales solubles en el Sector Sur. M-III: médanos sobreimpuestos al cordón actual; M-II: médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales; M-I: mantos arenosos.

Con respecto al Sector Norte, las relaciones Na^+/Cl^- son en la mayoría de las muestras cercanas a 0,8 (valor indicativo de influencia de agua de mar) o presentan valores entre 0,8 y 1 (valores entre la relación Na^+/Cl^- del agua de mar y la disolución de halita) (Figura 4.5.29a). Las muestras con mayores contenidos en Cl^- son las que presentan valores menos negativos en los índices de saturación de halita (Figura 4.5.29b). Respecto de la relación $\text{Ca}^{+2}/\text{SO}_4^{-2}$ se observa una leve tendencia a acercarse a un valor de 1 con el aumento en SO_4^{-2} (Figura 4.5.29c), tendencia que señalaría una posible disolución de yeso lo que conduce a valores menos negativos en los índices de saturación de yeso (Figura 4.29c y d). No obstante, se observa que gran parte de las muestras presenta relaciones $\text{Ca}^{+2}/\text{SO}_4^{-2}$ inferiores a 1 lo que indicaría posibles aportes de SO_4^{-2} desde otra fuente tal como puede ser el caso de la oxidación de pirita, mineral característico en este tipo de ambiente (Bouza et al., 2018). Para la planicie costera del estuario del Río de la Plata en donde se enmarca este sector, la presencia de pirita sedimentaria y de suelos sulfídicos asociados a este mineral ha sido registrada (Bértola, 1993; Logan et al., 1998), indicándose además que la oxidación de los sulfuros genera un aumento en los sulfatos disueltos en el agua subterránea (Logan et al., 1998; Carol et al., 2015).

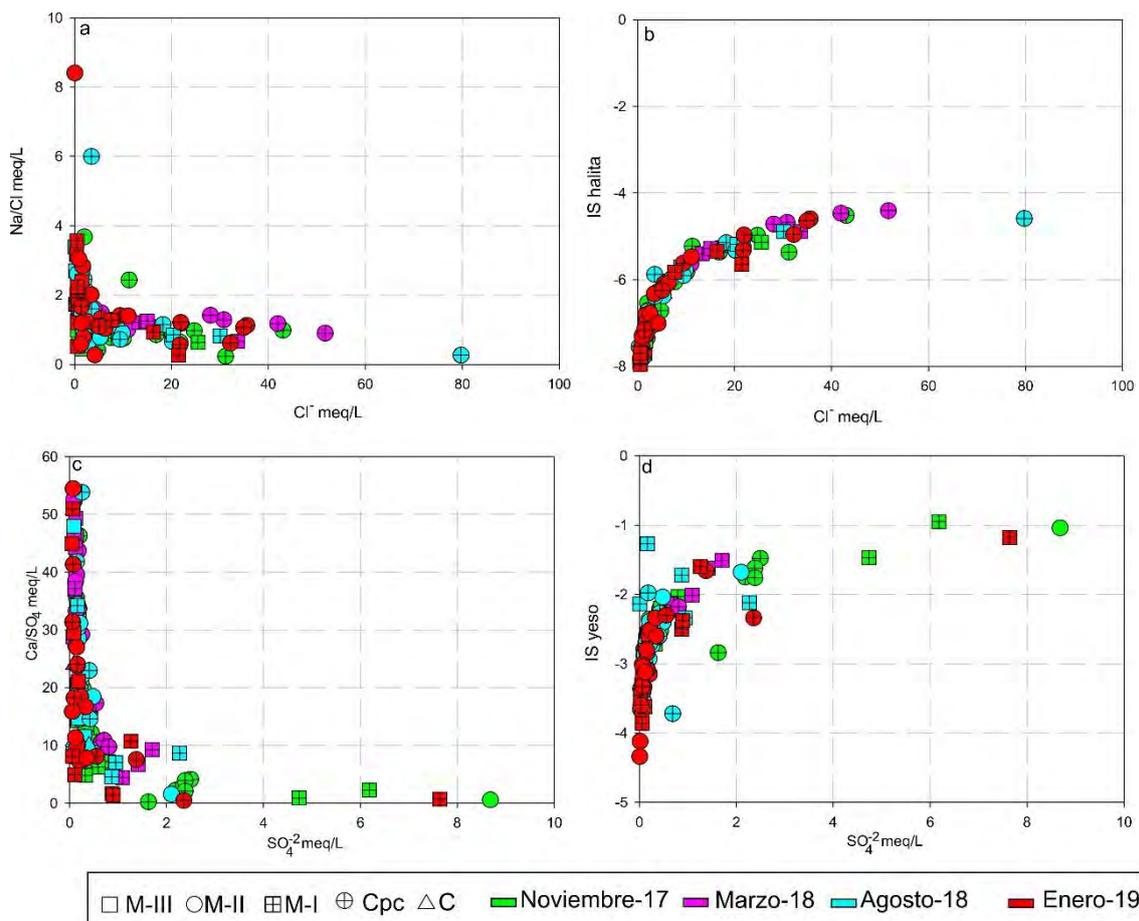


Figura 4.5.28. Relaciones iónicas asociadas a sales solubles en el Sector Central. M-III: médanos sobreimpuestos al cordón actual; M-II: médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales; M-I: mantos arenosos; Cpc: crestas de playa actualmente zonas continentales; C: bajos intercretales (cañadas)

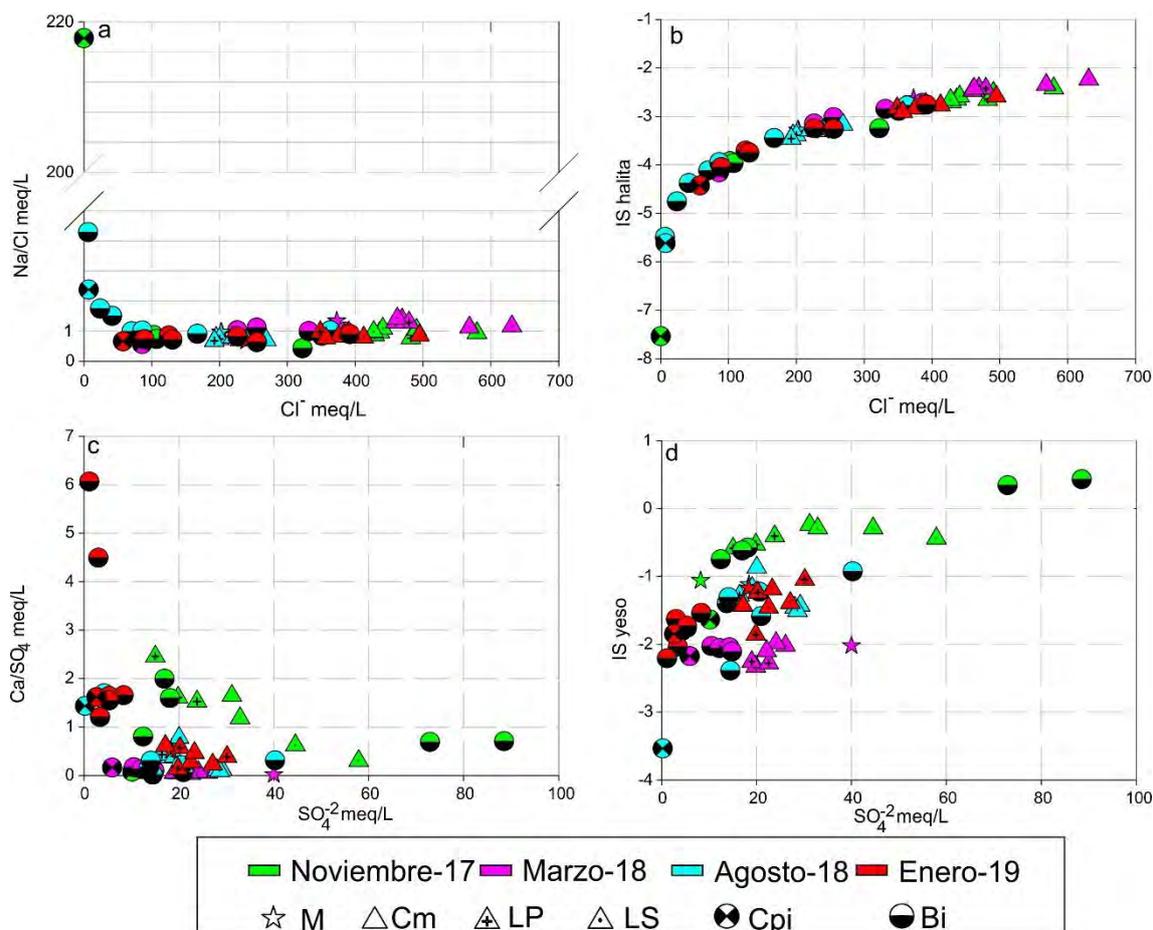


Figura 4.5.29. Relaciones iónicas asociadas a sales solubles en el Sector Norte. M: mar; Cm: canal de marea; LP: laguna principal; LS: laguna secundaria; Cpi: crestas de playa en zonas intermareales; Bi: bajos intermareales

4.5.5. Análisis de elementos minoritarios

4.5.5.1. Sector Sur

Se ha determinado la concentración de elementos minoritarios (Fe, Mn, As) en dos periodos de muestreo, noviembre-17 y agosto-18. A partir de esto se estudió particularmente su distribución en las unidades geomorfológicas M-I, M-II y M-III y sus variaciones en los distintos muestreos, a través de gráficos de cajas y bigotes (Figura 4.5.30). Las concentraciones de los mismos se presentan en el Anexo Tabla I.

La concentración de As en el conjunto de unidades geomorfológicas estudiadas varía entre 0,01 y 0,12 mg/L, registrándose la mayor variabilidad y concentración en M-III (Figura 4.5.30a). Todos estos valores se encuentran por encima del límite de potabilidad (valor de 0,01 mg/L indicado como una línea roja en la Figura 4.5.30a), no superando el límite para consumo del ganado (valor de 0,5mg/L). A su vez, si se analiza el comportamiento del As en función del pH se puede apreciar una leve tendencia al aumento de las concentraciones a valores alcalinos de pH, los cuales ocurren en el muestreo realizado en el periodo de déficit hídrico (Figura 4.5.30d).

El Fe es, dentro de los elementos minoritarios analizados, el que presenta mayor variabilidad entre muestreos y registra las mayores concentraciones (Figura 4.5.30b). Es importante destacar que precipitados de hierro son frecuentemente observados en las cañerías de las perforaciones de abastecimiento y molinos, así como también es común la formación de coloides férricos en los tanques de almacenamiento de agua. En el muestreo de noviembre-17 las concentraciones

varían entre 3,4 y 8,2 mg/L, y en agosto-18 entre 0,05 y 0,39 mg/L. Estas marcadas diferencias entre los muestreos realizados en periodos de déficit (noviembre-17) y excesos hídricos (agosto-18) estarían mostrando la influencia del balance hídrico en la química del hierro, donde en los periodos de mayor recarga de los acuíferos existe una disminución en la concentración por dilución. Con respecto a las relaciones Fe con el pH (Figura 4.5.30e), no se observa una clara asociación, lo que indicaría que la concentración de Fe no tendría una dependencia directa con dicho parámetro.

Por su parte, el Mn presenta baja variabilidad entre los muestreos y entre las unidades geomorfológicas, con concentraciones inferiores a 0,1 mg/L en M-II y M-III, aumentando levemente en M-I con valores de 0,35 mg/L (Figura 4.5.30c). Asimismo, sus concentraciones no parecerían estar condicionadas por el pH (Figura 4.5.30 f).

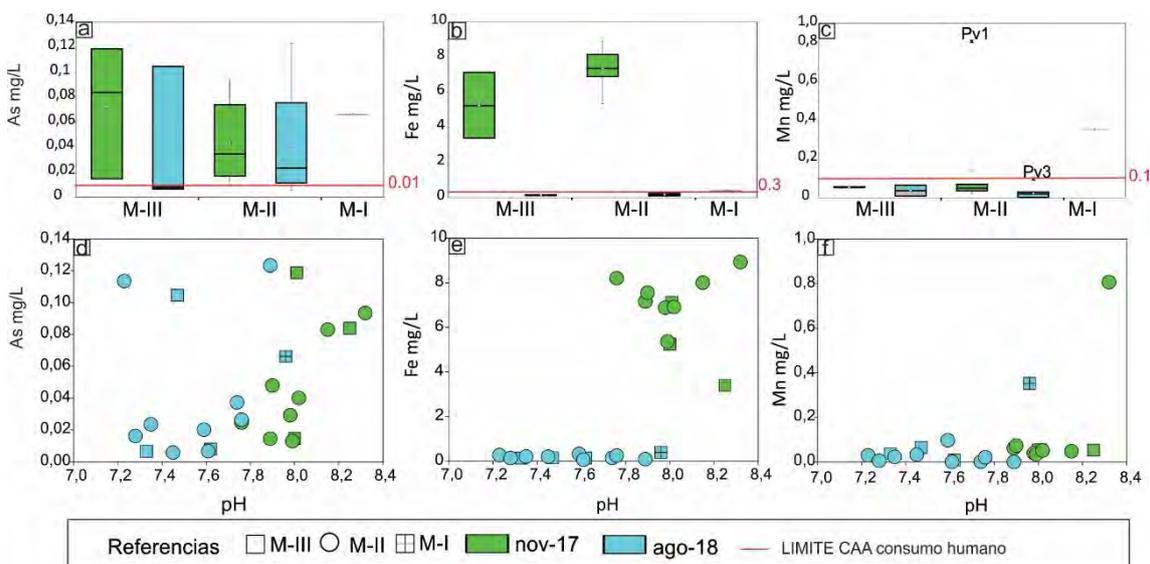


Figura 4.5.30. Representación de la variabilidad de As, Fe y Mn en el Sector Sur. Donde, a, b y c se representa la variabilidad en función de las unidades geomorfológicas; d, e y f la variabilidad en función del pH. Unidades geomorfológicas: M-III: médanos sobreimpuestos al cordón actual; M-II médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales, M-I mantos arenosos. Se marcan en línea roja solo en aquellos gráficos donde los valores correspondientes a los límites de CAA fueron superados para cada elemento en particular.

4.5.5.2. Sector Central

De igual manera que en Sector Sur, los elementos minoritarios han sido determinados en los muestreos de noviembre-17 y agosto-18. Los resultados obtenidos de los análisis se muestran en el Anexo Tabla III.

Considerando ambos muestreos, se observa que la concentración de As en el agua presenta variaciones entre las unidades geomorfológicas analizadas. Los menores contenidos se registran en M-III y M-II con valores máximos de 0,01 mg/L, encontrándose todos los puntos por debajo de los límites establecidos para su consumo, a excepción de una muestra (FC) donde las concentraciones llegan a 0,085 mg/L (Figura 4.5.31a). Por su parte, en Cpc y en M-I, la variabilidad y contenidos son mayores registrándose concentraciones entre 0,001 a 0,019 mg/L, característica que limita en algunos puntos de muestreo su uso como agua de consumo humano. Por su parte, en el agua superficial de las cañadas los contenidos de As son bajos con un valor promedio de 0,006 mg/L.

Al igual que en el Sector Sur, el Fe, es el elemento minoritario que presenta las mayores concentraciones. En este sector además de observarse precipitados y coloides de hierro en las cañerías y tanques de almacenamiento, durante la toma de muestra se visualizaron colores rojizos en el agua subterránea tomada de molinos (Figura 4.5.32). Las concentraciones en el agua subterránea dentro de cada unidad para los distintos muestreos presentan mayor variabilidad y dispersión en las muestras de Cpc (con valores entre 0,01 y 3,62 mg/L) y M-I (con valores entre 0,01 y 3,72 mg/L), registrando en ambas unidades concentraciones por encima del límite establecido para consumo humano (Figura 4.5.31b). En M-II y M-III la variabilidad y concentración de Fe son bajas con rangos entre 0,01 y 1,22 mg/L mientras que en el agua superficial de los bajos intercrestaes, las variaciones son escasas y se registra un valor medio de 0,95 mg/L (Figura 4.31b y Anexo Tabla III). En general, similar al Sector Sur, las menores concentraciones se registran en el muestreo de agosto-18 donde existen excedentes hídricos que infiltran recargando al acuífero.

Con respecto al Mn, en el agua subterránea las menores variabilidades y concentraciones se registran M-III y M-II con valores máximos de 0,34 mg/L(Figura 4.31c y Anexo Tabla III). Asimismo, el agua subterránea en M-I y en Cpc, así como en el agua superficial (C), la variabilidad y concentraciones son mayores en noviembre-17 respecto de agosto-18. Se registran valores máximos de Mn de 0,85 mg/L en M-I, 3,70 mg/L en Cpc y 1,34 mg/L en C (Figura 4.5.31c y Anexo Tabla III), superando en los tres casos los límites establecidos para consumo humano.

Por último, el análisis del comportamiento de los elementos minoritarios vs. pH evidencian que las mayores concentraciones tanto de As, como Fe y Mn se asocian a pH neutros (Figura 4.5.31 d, e y f).

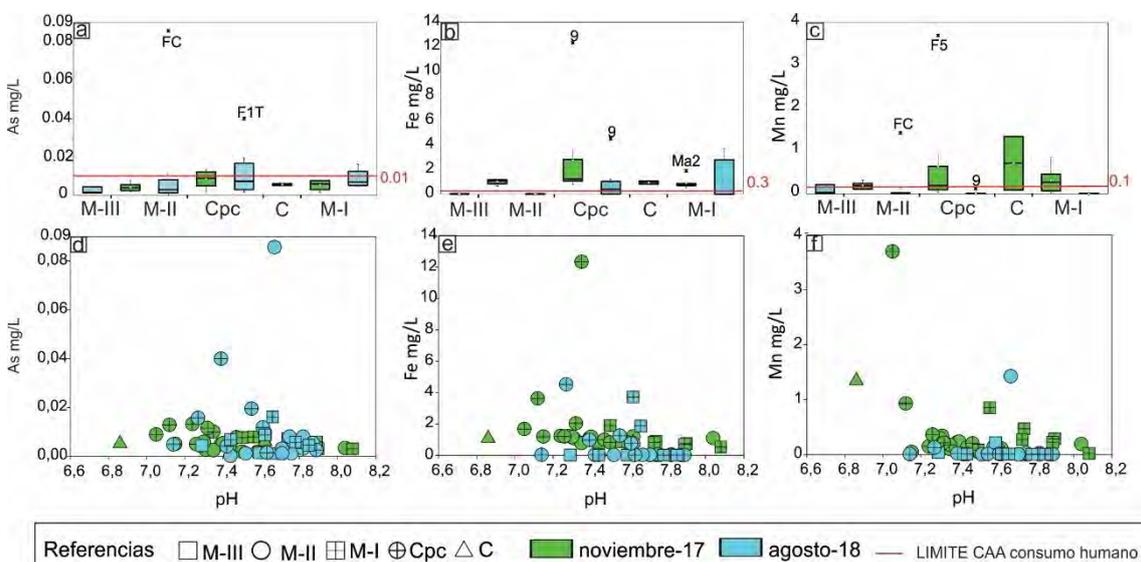


Figura 4.5.31. Representación de la variabilidad de As, Fe y Mn en el Sector Central. Donde, a, b y c se representa la variabilidad en función de las unidades geomorfológicas; d, e y f la variabilidad en función del pH. Unidades geomorfológicas: M-III: médanos sobreimpuestos al cordón actual; M-II médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales, M-I mantos arenosos, Cpc: crestas de playa actualmente zonas continentales y C: aguas superficiales de cañadas en bajos intercrestaes. Se marcan en línea roja solo en aquellos gráficos donde los valores correspondientes a los límites de CAA fueron superados para cada elemento en particular.

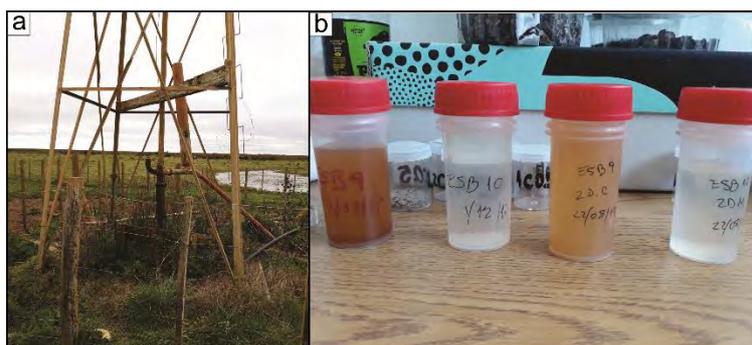


Figura 4.5.32. Fotografías de a-Molino 9 con colores rojizos anaranjados en toda su superficie. B- Agua de coloración rojiza muestreada sin filtrar en noviembre-17 y agosto-18 del molino 9 en comparación con las muestras traslucidas sin filtrar de otros molinos adyacentes

4.5.5.3. Sector Norte

Como se expuso anteriormente, los elementos minoritarios (As, Fe y Mn) han sido determinados en los muestreos de noviembre-17 y agosto-18 (*Anexo Tabla V*) tanto en el agua de mar (M), como en el canal de marea (Cm), la laguna principal (LP) y la laguna secundaria (LS). En lo que respecta a las aguas subterráneas dichos elementos han sido determinados en las crestas de playas en zonas intermareales (Cpi) y bajos intermareales (Bi).

Respecto de la distribución del As, se registra una tendencia a concentrarse en noviembre-17, tanto en aguas superficiales como subterráneas. Asimismo, las concentraciones en Cm, LP y LS varían entre 0,035 y 0,392 mg/L superando el límite establecido para la protección de vida acuática (Figura 4.5.33a). En el agua subterránea se registran menores concentraciones con rangos que varían de 0,003 a 0,234 mg/L (Figura 4.5.35a). Por otro lado, al analizar la variabilidad de este elemento en función del pH, no se observa una clara relación lo que indicaría que la concentración de As no tendría una dependencia directa con dicho parámetro (Figura 4.5.35 d).

En cuanto al Fe, es el ion que presentó mayor variabilidad (Figura 4.5.33b), registrándose las mayores concentraciones en el agua superficial (entre 1,148 a 9,089 mg/L). Respecto al agua subterránea la mayor variabilidad ocurre principalmente en Bi, presentando rangos que varían entre 0,06 y 5,92 mg/L, a diferencia de Cpi donde se muestran poco variables y en menores concentraciones (entre 0,350 y 0,137 mg/L) (Figura 4.5.33b). En relación al pH se observa que no hay una clara relación entre la concentración de este elemento y este parámetro (Figura 4.5.33e).

El Mn, por su parte, registra valores que fluctúan entre 0,11 y 0,037 mg/L en aguas superficiales, mientras que, en el agua subterránea las concentraciones son mayores y más variables alcanzando un máximo de 0,517 mg/L (Figura 4.5.35.c). Por otro lado, el análisis del comportamiento de este elemento vs pH, evidencia que las mayores concentraciones ocurren a pH neutros (Figura 4.5.33f).

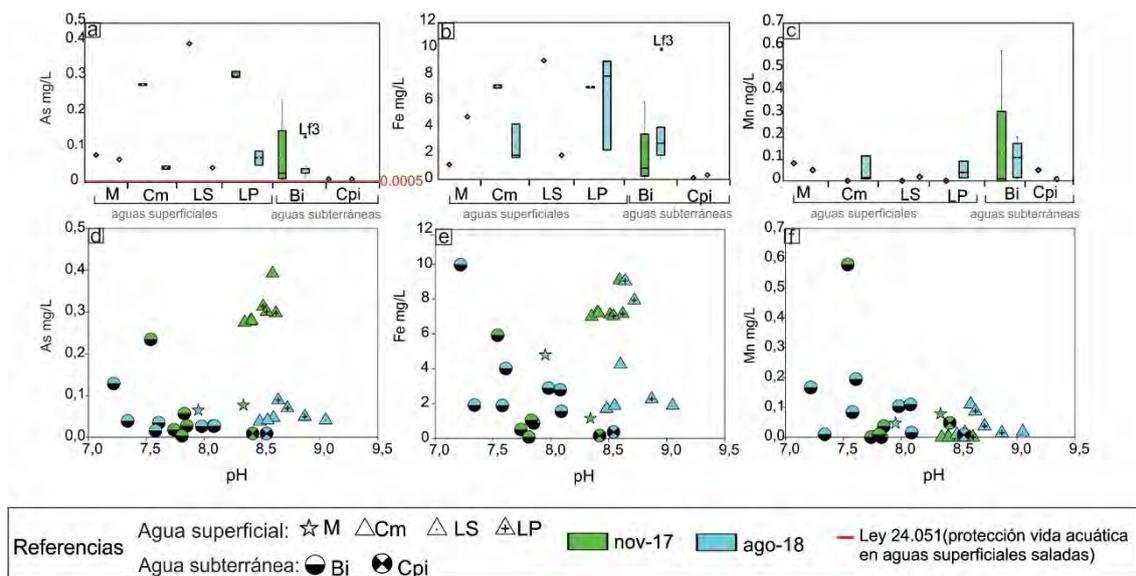


Figura 4.5.33. Representación de la variabilidad de As, Fe y Mn en el Sector Norte. Donde, a, b y c se representa la variabilidad en función de las unidades geomorfológicas; d, e y f la variabilidad en función del pH. Agua superficial: M: mar, Cm: canal de marea; LS: laguna secundaria, LP: laguna principal; agua subterránea: Bi: bajos intermareales Cpi: crestas de playa en zonas intermareales. Se marcan en línea roja solo en aquellos gráficos donde los valores correspondientes a los límites de la Ley 24.051 fueron superados para cada elemento en particular. El límite de la Ley N°24.051, está establecido solo en aguas superficiales.

4.5.6. Análisis de aptitud de agua

Debido a que el agua subterránea en los Sectores Sur y Central es utilizada para el abastecimiento por las poblaciones rurales y el ganado vacuno, se procederá a evaluar su calidad química a través de la valoración de los datos obtenidos en relación a los límites establecidos por el Código Alimentario Argentino (CAA, 2012) y los establecidos por el Instituto Nacional de Tecnología Agroindustrial (INTA- Luque 2018), respectivamente.

En el Sector Norte, en cambio, el agua subterránea y superficial no es utilizada para consumo y debido a que Punta Rasa es una Reserva Natural Provincial, se ha valorado solo la calidad del agua superficial a partir de los niveles guías establecidos en el Decreto Reglamentario de la Ley N°24.051 para la protección de la vida acuática en las aguas superficiales saladas. Aquí, los niveles guías establecidos no tienen en cuenta los STD y los valores de los iones mayoritarios, así como tampoco al Fe y Mn. Sin embargo, entre otros iones y compuestos, se establece el límite para el As de 0,5 µg/L (0,0005 mg/L).

Si bien anteriormente al describir las concentraciones de los distintos iones mayoritarios y elementos traza se ha hecho mención a la presencia de limitaciones, en este apartado se realizará un análisis integral por unidad geomorfológica y uso del agua haciendo sólo hincapié en aquellos iones que resulten de interés de acuerdo a las normativas vigentes.

Con respecto a los límites de potabilidad del agua (CAA, 2012), las valoraciones establecidas con respecto a CE (indicadora de salinidad), pH, iones mayoritarios y minoritarios indican que:

En la unidad M-III los puntos muestreados en general superan los límites de potabilidad establecidos para el As (de 0,01 mg/L) y Fe (0,3 mg/L) tanto en el Sector Sur como en el Sector Central (*Anexo Tabla I y III*, Figura 4.5.30a y b, Figura 4.5.31a y b).

En M-II, con respecto a los iones mayoritarios, se registran casos puntuales que superan los límites establecidos para el NO₃⁻ de 45 mg/L (pozo Pv6 y pozo 18, *Anexo Tabla I* y Figura 4.5.5g)

y el Cl^- de 350 mg/L (pozo 12 y 8, *Anexo Tabla III* y Figura 4.5.5g). En lo que respecta a los minoritarios, se observa una tendencia general al aumento en las concentraciones de As y Fe hacia el Sector Sur, donde superan los límites establecidos para dichos iones (*Anexo Tabla I*, Figura 4.5.30a y b). Hacia el Sector Central, si bien disminuyen las concentraciones de Fe y Mn, se registra un aumento importante en las concentraciones de estos elementos en los periodos de déficit hídrico, lo que hace que en función del balance hídrico el agua en esta unidad supere los límites de potabilidad (*Anexo Tabla III*, Figura 4.5.31a y b).

En Cpc los puntos muestreados evidencian que principalmente el ion Cl^- supera los límites establecidos de potabilidad (de 350 mg/L) y un único pozo muestra concentraciones elevadas de NO_3^- (pozo 9) (*Anexo Tabla III*, Figura 4.5.10c y g). Con respecto a los minoritarios, estos superan los límites establecidos para el As, Fe y Mn (0,01, 0,3 y 0,1 mg/L respectivamente) registrando al igual que M-II un aumento considerable en las concentraciones de Fe y Mn en el periodo de déficit hídrico (*Anexo Tabla III*, Figura 4.5.31a y b).

En el agua superficial muestreada en cañadas o bajos intercretales (C), los iones mayoritarios no superan los límites de potabilidad del agua para consumo humano, no obstante, sí se superan los límites de Fe y Mn (*Anexo Tabla III*, Figura 4.5.31b y c).

En M-I, las concentraciones de Cl^- aumentan considerablemente hacia el Sector Central, donde superan los límites establecidos para dicho ion (350 mg/L), principalmente en los pozos MA1, MA2 y MA3 (*Anexo Tabla III*, Figura 4.5.10c). Por su parte, los elementos minoritarios en líneas generales superan los límites de potabilidad, donde el As y el Mn tienden a concentrarse en el Sector Sur (0,01 mg/L para As y 0,10 para Mn) (*Anexo Tabla I*, Figura 4.5.30a y c), y el Fe aumenta hacia el Sector Central donde se concentra mayormente en el periodo de déficit hídrico superando el límite establecido para consumo humano de 0,3 mg/L (*Anexo Tabla III*, Figura 4.5.31b).

En lo que refiere a los límites establecidos para consumo de ganado las unidades relevadas tanto en el Sector Sur como Central, no superan los límites establecidos por el INTA (Luque, 2018) en referencia a CE, pH y concentración de iones mayoritarios en el agua. Sin embargo, una excepción se presenta en la unidad Cpc, donde el punto 9 es la única que presenta valores elevados de NO_3^- superando el límite establecido de 200 mg/L para consumo del ganado (*Anexo Tabla III*, Figura 4.5.10g).

Por último, en referencia a la Ley N° 24.051 para aguas saladas superficiales, fueron valorados respecto a las muestras superficiales obtenidas en el Sector Norte, donde el límite para el As de 0,5 $\mu\text{g/L}$ (0,0005 mg/L) se ve superado en los dos muestreos ya sea en el canal de marea, laguna principal y laguna secundaria (*Anexo Tabla V* y Figura 4.5.33a).

CAPÍTULO 5: MODELO GEOHIDROLÓGICO CONCEPTUAL

En este capítulo se resumen las principales características hidrogeológicas de los distintos depósitos arenosos presentes en el área de estudio, planteándose un modelo conceptual del funcionamiento geohidrológico de la espiga arenosa y sus depósitos eólicos asociados considerando las unidades M-III, M-II, M-I, Cpc, Cpi y Bi. En el mismo se integrarán las características geológicas, geomorfológicas, hidrodinámicas (asociadas a variaciones en el balance hídrico y en el caso del sector Norte también a la marea) e hidroquímicas. En una primera instancia se expondrá el comportamiento geohidrológico general para los tres sectores estudiados y posteriormente se analizarán en detalle los factores y procesos que condicionan la

composición química del agua. Estos factores y procesos serán sintetizados en esquemas 3D en donde se mostrarán las características geomorfológicas, litológicas, hidrodinámicas y geoquímicas determinantes de la química del agua en los distintos sectores.

Modelo geohidrológico conceptual

Geomorfológicamente, el área de estudio comprende depósitos de crestas de playa asociados a la migración de una espiga litoral, a los que se superponen depósitos de médanos y mantos arenosos. Los análisis granulométricos y composicionales efectuados indican que en las crestas de playa (Cpc y Cpi), los sedimentos están compuestos por arenas finas en elevada proporción hasta profundidades cercanas a los 5 m con una tendencia al aumento de fracciones finas hacia los niveles más superficiales, destacándose la intercalación de niveles conchiles de tamaño psefíticos. Los depósitos eólicos (M-III, M-II y M-I) están constituidos por arenas finas, seguido de arenas medianas, y presencia de fracciones finas y psefíticas en baja proporción, donde las conchillas pueden presentarse fragmentadas o como pequeñas valvas enteras de tamaños variables y diseminadas en profundidad. Los sedimentos arenosos en todos estos depósitos se componen principalmente de cuarzo y en menores proporciones de feldespatos, plagioclasas, piroxenos, anfíboles, carbonatos biogénicos y en forma de nódulos, óxidos de Fe (magnetita) y oxi-hidróxidos de Fe y Mn. En algunos sectores se observa la presencia de sales en superficie, que dada la cercanía al mar podrían provenir de los aerosoles marinos, y en el caso del Sector Norte mayormente producto a la inundación y evaporación total del agua mareal.

La importancia hidrogeológica de los distintos depósitos arenosos y geoformas que se desarrollan en el área de estudio radica en que al ser unidades topográficamente elevadas y con alta permeabilidad facilitan la rápida infiltración del agua de lluvia, que se traducen en agua de infiltración que recarga al acuífero freático. Los valores isotópicos de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ similares a los de la precipitación local indican que la infiltración del agua de lluvia ocurre rápidamente.

Los balances hídricos señalan la existencia de excesos hídricos entre los meses de abril y octubre. Esto conduce a que exista una recarga del agua subterránea preferencialmente en el invierno, evidenciada en los ascensos de los niveles freáticos, los cuales se encuentran a profundidades cercanas a 1 m (siendo más profundo en M-III debido a las cotas topográficas mayores) y llegando a aflorar en las zonas deprimidas. El flujo de agua subterránea local ocurre desde las zonas topográficamente más elevadas hacia las zonas deprimidas, a excepción de un caso puntual donde se registra inversión del flujo del agua subterránea en M-III (localidad de Mar de Ajó), hacia el ejido urbano. Sin embargo, para atribuir modificaciones del flujo regional a sobreexplotación es necesario considerar un tiempo prolongado como para excluir situaciones puntuales o transitorias (Andreu, 1997; Custodio, 2001; Custodio y Llamas, 1979).

En los sectores donde hay influencia mareal, tal es el caso del Sector Norte, los niveles de agua subterránea no sólo responden a la recarga de las precipitaciones sino también a las pleamares que inundan las áreas deprimidas (bajos intermareales) entre crestas de playa. Este ingreso de la marea también puede afectar localmente la dirección del flujo subterráneo en las Cpi el cual tiende a descargar hacia las lagunas costeras y canales de marea.

La morfología y topografía de los depósitos condiciona la salinidad del agua siendo dulce en M-I, M-II y M-III donde los depósitos son más continuos y es mayor la topografía, salobre en Cpc cuya topografía es menor y existen zonas deprimidas entre crestas de playa, y salada en las Cpi debido no solo a la presencia de bajos intermareales entre las crestas de playa, sino también a la influencia mareal. La composición del agua subterránea en función de la concentración de

iones mayoritarios, evidencia que los iones dominantes son HCO_3^- y Ca^{+2} principalmente en el Sector Sur, y que, hacia el Norte, se enriquecen gradualmente en otros iones, encontrando mayor concentración y predominio de Cl^- , Na^+ , SO_4^{-2} y Mg^{+2} . Esto determina cambios en las facies químicas con dominancia de facies Ca- HCO_3 en el Sector Sur, variando a Ca- HCO_3 , Na- HCO_3 , Na- SO_4 , Na-Cl, en el Sector Central hasta ser finalmente Na-Cl en el Sector Norte. Cabe destacar que, en los periodos de déficit hídrico, se da una mayor variabilidad y concentración de los iones.

5.1. Procesos condicionantes de la composición química del agua

Las relaciones iónicas e isotópicas muestran que distintos factores y procesos determinan la composición del agua en los distintos sectores estudiados. Respecto de la variabilidad espacial se registran diferencias entre los Sectores Sur y Central (los cuales son químicamente muy similares) y el Sector Norte, definiéndose entonces dos modelos conceptuales.

5.1.1. Modelo conceptual Sectores Sur y Central:

En los Sectores Sur y Central los depósitos arenosos se desarrollan en ambientes de Cpc y M-I, M-II y M-III. En ellos, si bien los factores climáticos determinantes de la alternancia de periodos de excesos y déficit hídricos reflejan leves variaciones en la CE y concentraciones de los iones mayoritarios y minoritarios (Figuras 4.5.2, 4.5.5, 4.5.7 y 4.5.10), no existe una variabilidad sustancial en lo que respecta a las facies hidroquímicas. En los periodos de déficit hídrico los valores de la CE, contenido de iones mayoritarios y elementos traza tienden a ser mayores respecto de los periodos de excesos hídricos, lo que mostraría que, en el invierno, donde ocurre preferencialmente la recarga del acuífero, la infiltración del agua de lluvia produce una dilución hidroquímica del agua subterránea.

En M-III, M-II y M-I el agua de lluvia que infiltra y recarga el acuífero adquiere una composición mayoritaria donde dominan facies Ca- HCO_3 . La infiltración del agua de lluvia, tal como se mencionó anteriormente, es rápida por cuanto se descarta la evaporación previa a la infiltración como proceso condicionante. Esto queda evidenciado por los valores de isótopos, que se encuentran cercanos a la línea meteórica local, principalmente en M-III y M-II (Figura 4.5.19). Cuando el agua de lluvia infiltra reacciona con el $\text{CO}_{2(g)}$ presente en la zona no saturada, generando HCO_3^- y H^+ . Los protones generados en esta reacción disolverían a los carbonatos presentes generando iones HCO_3^- y Ca^{+2} en solución. Estos dos procesos serían los principales responsables de la dominancia de facies Ca- HCO_3 . No se descarta la alteración de silicatos o el intercambio catiónico, no obstante el primero de estos procesos es relativamente lento y la presencia de componentes arcillosos que faciliten el intercambio catiónico es escasa, en consecuencia, es de esperar que estos procesos no constituyan un aporte de relevancia a la composición iónica mayoritaria. Es importante resaltar que la incorporación de iones HCO_3^- y Ca^{+2} es tal que produce la saturación de calcita (Figura 4.5.24b y 4.5.25b), mineral que reprecipita en forma de pequeños nódulos. Particularmente en el sector de M-I, se detectó un aumento en la CE en los mantos ubicados hacia el oeste, el cual podría atribuirse a la mayor cobertura arbórea, que genera una mayor evapotranspiración (Rodrigues Capítulo, 2015) y por lo tanto conduce a una mayor concentración de los iones en el agua, reflejado dicho aumento en la CE.

En las Cpc el agua de lluvia también infiltra recargando al agua subterránea, registrándose aquí facies hidroquímicas variables, principalmente de tipo Cl-Na (en los periodos de déficit hídrico) y Na- HCO_3 (en periodos de exceso hídrico). Esta variabilidad estaría indicando la existencia de otros procesos geoquímicos relacionados a la interacción del agua de lluvia con otros minerales que se presentan en este ambiente. Tal es el caso de la presencia de pequeñas cantidades de

sales solubles como yeso y halita que suelen presentarse en los suelos de la región en las zonas de crestas de playa y antiguas planicies (Carol et al., 2009). En los periodos de déficit hídrico la dominancia de la evaporación por sobre la precipitación favorece la formación de pequeñas cantidades de halita (y en menor medida yeso) en los suelos producto de la evaporación total del aerosol marino. Nótese que este proceso de disolución de halita es en Cpc claramente evidenciado en la relación $\delta^{18}\text{O}$ vs. Cl^- y en $\delta^{18}\text{O}$ vs. Na^+ (Figura 4.5.19a y c). La disolución de estas sales constituye un aporte de iones Cl^- , Na^+ (y en menor medida de SO_4^{2-} y Ca^{+2}) al agua subterránea que, en muestras de bajos contenidos salinos producen cambios en las facies químicas.

Por su parte, los bajos entre las crestas de playa continentales no sólo funcionan como zonas de descarga local, sino que también reciben agua de las precipitaciones la cual se acumula superficialmente formando cañadas. El aporte directo de agua de lluvia sobre las cañadas determina que el agua acumulada en las mismas presente bajos contenidos iónicos, aunque pueden registrarse leves aumentos en los periodos de déficit hídrico. Este aumento en el contenido salino podría asociarse a procesos de evaporación del agua acumulada en estas cañadas los cuales dominan por sobre el aporte de las precipitaciones en los periodos de déficit hídrico. Por otro lado, considerando que el agua de lluvia podría estar influenciada por aerosoles marinos, leves aportes de Na^+ y Cl^- son esperables, a los que se suma la disolución de $\text{CO}_{2(g)}$ lo que explicaría la presencia de facies $\text{Na}-\text{HCO}_3$.

Respecto de los elementos minoritarios, éstos son aportados a partir de la interacción entre el agua y el sedimento. La presencia de As en el agua subterránea es atribuida en la región a impurezas presentes en el vidrio volcánico que compone al loess pampeano (Kinninburgh, 2002; Smedley, 2008). Si bien en el análisis mineralógico realizado en la tesis el vidrio volcánico no fue detectado en el área de estudio, otros antecedentes con trabajos mineralógicos efectuados en la zona han reconocido su existencia dentro de las arenas que componen a los depósitos litorales (Bértola, 1995). El vidrio volcánico amorfo resulta más fácilmente alterado que las arenas cuarzosas y silicatos, pudiéndose liberar durante el proceso de alteración elementos químicos contenidos como impurezas como por ejemplo el As. Asimismo, el As es comúnmente retenido por adsorción en oxo – hidróxidos de hierro y manganeso, produciéndose la desorción del mismo cuando el pH del agua en contacto con los sedimentos se torna alcalino (Smedley, 2008; Thomas He et al., 2010). En ambos procesos el aumento en el pH favorece la liberación del As al agua, no obstante, esta tendencia sólo ha sido observada en las muestras del Sector Sur (Figura 4.5.31a) donde los contenidos de As son más altos. En el Sector Central las concentraciones de As son más bajas (a excepción de dos muestras) y no se observa una relación clara entre los contenidos de As y el pH.

El Fe y Mn en el agua subterránea derivarían de la alteración de minerales ferromagnesianos (como piroxenos o anfíboles) u óxidos e hidróxidos de hierro - manganeso. La presencia de estos elementos en solución está regulada tanto por el pH como el Eh. De estos parámetros sólo el pH fue medido, regulando éste (en condiciones de Eh de ambientes naturales) la presencia de cationes solubles en condiciones ácidas a neutras, y precipitados de oxo – hidróxidos en condiciones neutras a alcalinas (Apelo y Postma, 2005). Bajo estas condiciones, es de esperar que exista una disminución del contenido de Fe y Mn en solución conforme aumenta el pH. Esta situación es registrada sólo en el Sector Central, donde los contenidos en estos elementos minoritarios son más bajos. Aquí tampoco existe una variación importante entre las concentraciones registradas en el periodo de déficit y excesos hídricos. Sin embargo, en el Sector Sur, es notorio el aumento en los contenidos de Fe y Mn en el periodo de déficit hídrico, pese a

que las condiciones de pH son neutras a levemente alcalinas. Esto evidencia la necesidad de realizar estudios de mayor detalle (p.e. mediciones de condiciones de Eh y estabilidad de minerales de Fe y Mn) para poder explicar con certeza el proceso que explica estas elevadas concentraciones. No obstante, tal como se explicó precedentemente, en este sector, el balance hídrico sí condiciona fuertemente a la concentración de elementos traza, las cuales disminuyen en los periodos de excesos hídricos.

En la Figura 5.1 se muestra un modelo conceptual en el que se resumen de manera esquemática las características litológicas, hidrodinámicas y los principales procesos geoquímicos que condicionan el funcionamiento geohidrológico de los Sectores Sur y Central.

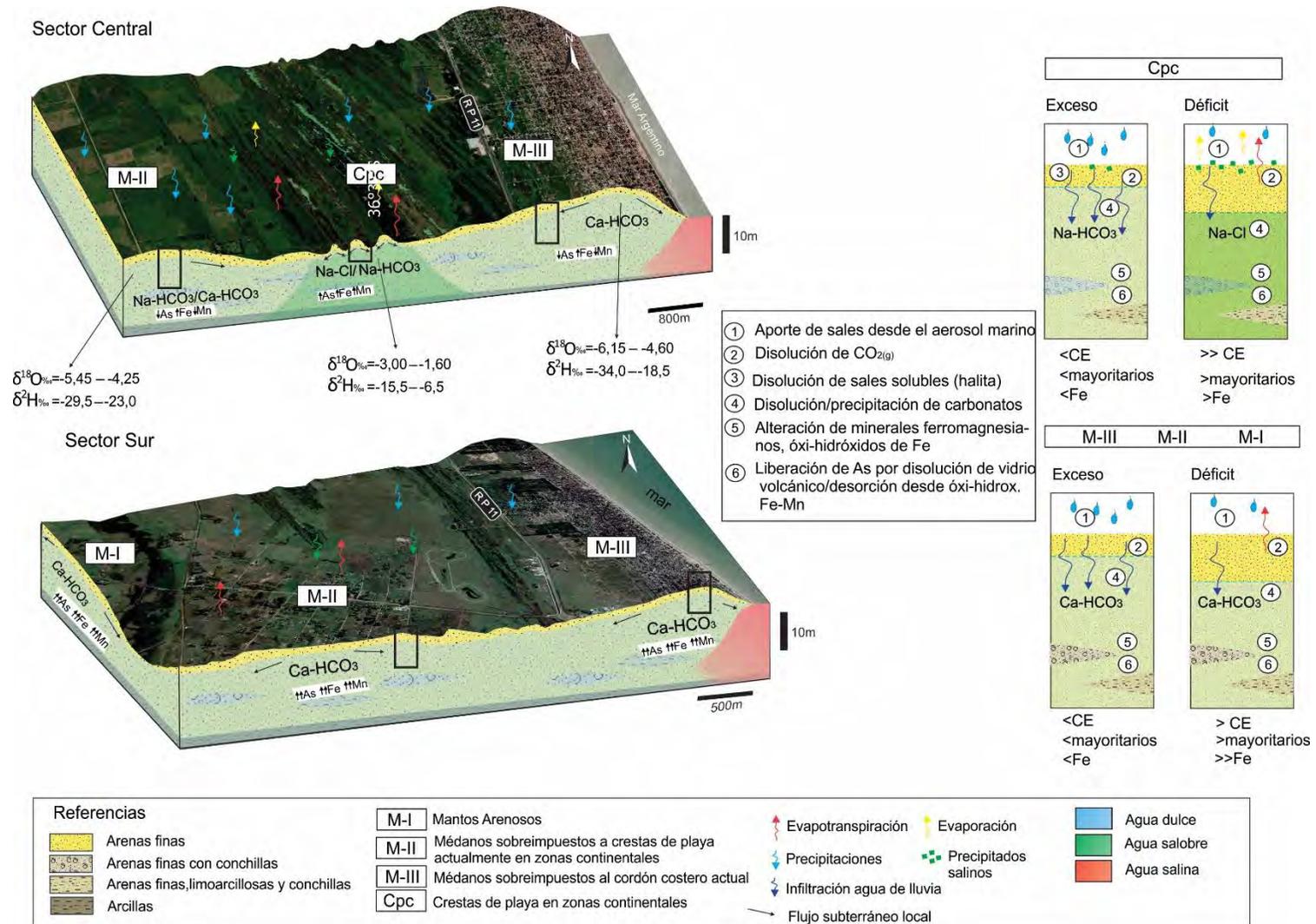


Figura 5.1. Modelo conceptual geohidrológico Sector Sur y Central.

5.1.2. Modelo conceptual del Sector Norte:

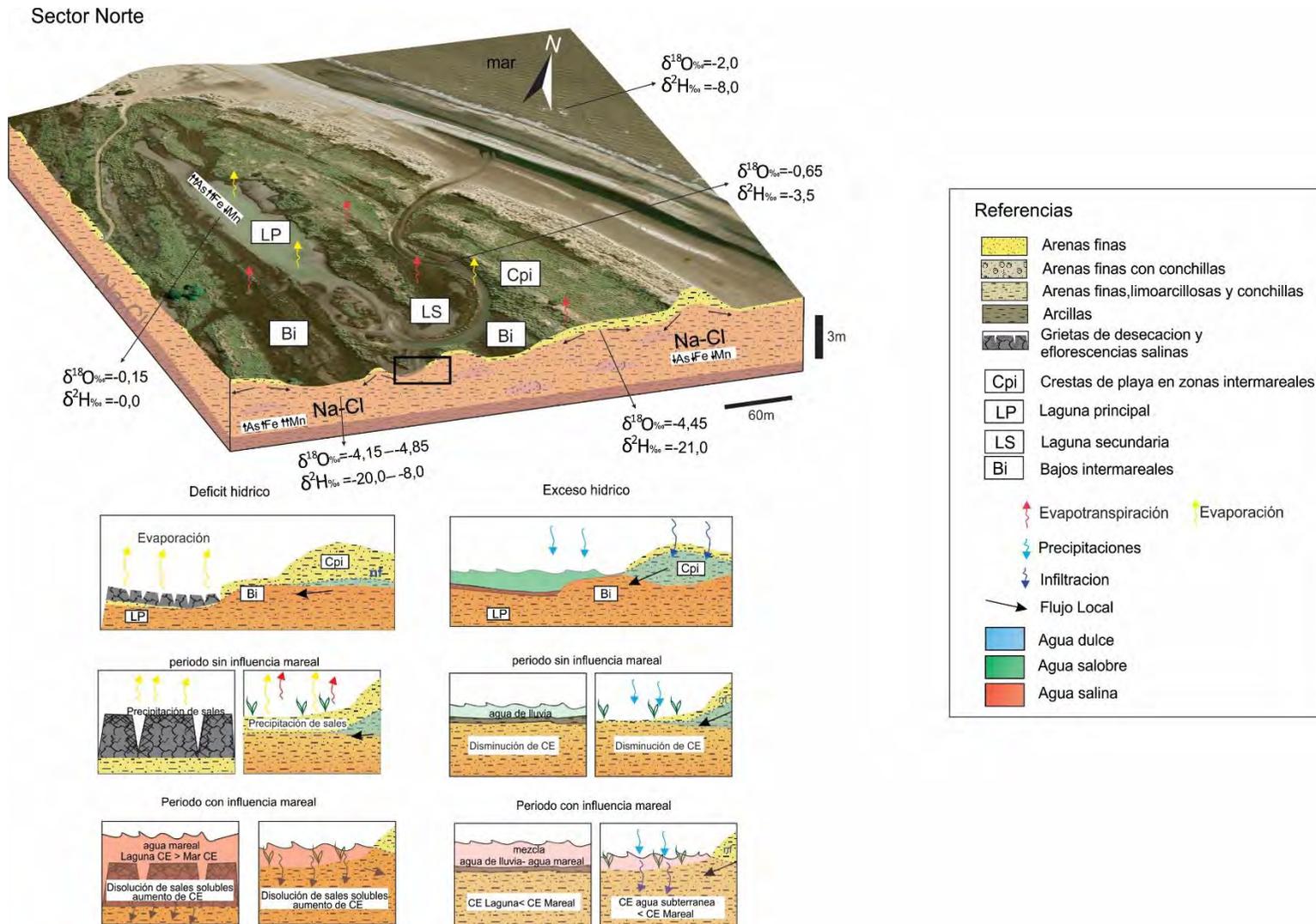
Los resultados obtenidos evidencian como los factores climáticos asociados al balance hídrico, así como a los flujos mareales son determinantes en la variabilidad hidroquímica observada en este sector. El flujo mareal ingresa por el canal de marea que conecta el mar con la laguna principal durante las pleamares, observándose que en algunos periodos el ingreso de la misma es más restringido. Dado que el Sector Norte se encuentra en un área de mezcla con aportes tanto del estuario del Río de la Plata como del Mar Argentino es que existe una gran variabilidad química en el agua mareal dependiendo de los porcentajes de aporte de cada una de estas fuentes (Guerrero et al., 1997). Esto se ve reflejado en las salinidades y composiciones químicas de las muestras de agua de mar, tomadas en la zona de ingreso al canal de marea, las que mostraron CE y concentraciones iónicas muy variables, aunque predominantemente Na-Cl (Figura 4.5.15b y 4.5.16c). Por otro lado, en los periodos de déficit hídrico, donde no existen aportes del agua de lluvia y si el ingreso de la marea es restringido, el agua de la laguna principal tiende a evaporarse, proceso que se evidencia en la presencia de eflorescencias salinas (de tipo halita principalmente) presentes en el suelo de los bajos intermareales (Figura 4.1.14.) así como de grietas de desecación y costras salinas registradas en la laguna principal (Figura 4.1.15.).

La dinámica del agua depende de las características geomorfológicas, en las Cpi el agua de lluvia infiltra en los sedimentos arenosos, siendo éste el principal aporte ya que, al ser geoformas topográficamente positivas rara vez son inundadas por el flujo mareal. El agua subterránea en las Cpi fluye hacia la laguna principal y canales de marea donde se produce la descarga local (Galliari et al. 2017). Los Bi que se ubican en los bordes de la laguna costera y del canal de marea reciben esta descarga de agua dulce desde las crestas de playa (Figura 4.4.9b y 4.4.11b) así como el aporte de la marea. Este comportamiento hidrodinámico se verifica en los contenidos isotópicos con valores próximos a la recta meteórica en Cpi y valores en las muestras de Bi en torno a la recta de mezcla entre Cpi y el agua de mar (Figura 4.5.18). Estos procesos de mezcla también se observan en la CE y contenidos de Cl⁻ en relación al contenido isotópico (Figura 4.5.19b y d).

En cuanto a la variabilidad asociada al balance hídrico, las muestras de noviembre-17, marzo-18 y enero-19 se caracterizaron por ser tomadas en un periodo de escasas precipitaciones y de déficit hídrico. Con respecto al ingreso de la marea, las alturas registradas en noviembre-17 y enero-19 (cercanos a 2 m s.n.m.) indican que los días previos al muestreo ingresó el flujo mareal. En estas condiciones el agua superficial del canal de marea, laguna principal y secundaria, así como el agua subterránea de los bajos intermareales, registraron CE superiores a las muestras extraídas en el mar (Figura 4.5.12b). Si bien para estos muestreos no se cuenta con datos isotópicos, es de esperar que este aumento en la CE se deba a la evaporación del agua mareal, además de la posible disolución de sales que se hayan formado en los Bi y bordes de la laguna y canales de marea por previa evaporación total del agua mareal retenida en los sedimentos (Figura 4.1.14). La formación de halita entre ciclos de pleamar-sicigia-cuadratura y en menor medida de yeso en forma de costras o eflorescencias salinas en los sedimentos de las zonas intermareales, es un proceso frecuente principalmente en los periodos de fuerte evaporación (Alvarez et al., 2015; Carol y Alvarez 2016; Carol et al., 2016). Valores cercanos a 1 en las relaciones Na^+/Cl^- y Ca^{+2}/SO_4^{-2} (Figura 4.5.29 a, c) en las muestras de agua de la laguna y subterránea de los Bi indicarían que la disolución de sales sería el principal proceso responsable del aumento en la CE. Esta disolución de sales ocasiona una disminución hacia valores menos negativos en los índices de saturación de yeso y halita. Asimismo, se aprecia que sales menos solubles como calcita y dolomita pueden precipitarse (índices de saturación positivos, Figura

4.5.26b y d), proceso que se ve favorecido por el aumento de iones Ca^{+2} y Mg^{+2} aportado por el flujo mareal y la disolución de sales, junto con el incremento en HCO_3^- debido a la disolución de $\text{CO}_{2(g)}$. Esta saturación de carbonatos ocurre principalmente en el agua subterránea y se origina por las altas concentraciones de HCO_3^- (Figura 4.5.15a y 4.5.26b) lo que sugiere que la disolución de $\text{CO}_{2(g)}$ es el proceso condicionante. El conjunto de procesos descritos precedentemente bajo condiciones de déficit hídrico e ingreso mareal se sintetiza en el modelo conceptual de la Figura 5.2, en el cual también se esquematizan las condiciones litológicas y geomorfológicas del sector Norte.

En contraposición, en los muestreos efectuados en agosto-18 y junio-19, las precipitaciones previas fueron abundantes, existiendo marcados excesos hídricos debido a la baja evapotranspiración que ocurre en estos meses (Figura 4.2.11b y c). Asimismo, la entrada de la marea fue restringida dado que las alturas de mareas registradas previas a los muestreos fueron inferiores a 1 m s.n.m (Figura 4.3.1c y e). Bajo estas condiciones el agua superficial de la laguna y el agua subterránea tienen menores valores de CE y de contenidos iónicos que el mar (Figura 4.5.12b, 4.5.15 y 4.5.16). Esta disminución se marca más en los contenidos de Cl^- y Na^+ principalmente en las muestras de agua subterránea (Figura 4.5.15a y 4.5.16c). Cabe destacarse que en estos muestreos no se observó la presencia de precipitados salinos en los bordes de la laguna y canales de marea, ni en los Bi. De esta manera, la disminución en la CE evidencia la importancia de la recarga de las lluvias en los sedimentos arenosos de los Bi y principalmente en las Cpi asociadas, así como también el aporte de las lluvias a la laguna (ya sea por precipitación directa como por descarga de agua subterránea desde las Cpi). Por otro lado, en relación a los contenidos de Ca^{+2} y HCO_3^- (Figura 4.5.15 a y 4.5.16 a), las muestras del periodo de excesos hídricos también se diferencian de las del periodo de déficit presentando menores concentraciones de Ca^{+2} . No así en relación a HCO_3^- , el cual aumenta principalmente en el agua subterránea por disolución del $\text{CO}_{2(g)}$ atmosférico retenido en los poros de la zona no saturada (Appelo y Postma, 2005). El conjunto de procesos descritos precedentemente se sintetiza en el modelo conceptual de la Figura 5.2.



CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

Las tareas realizadas han enfocado diferentes aspectos que hacen a la comprensión y a la determinación de los procesos geoquímicos que condicionan la química del agua subterránea y la evaluación de la calidad de la misma para abastecimiento en poblaciones rurales y como sustento de áreas naturales.

El estudio a nivel regional de las características geohidrológicas de las acumulaciones arenosas a lo largo del litoral bonaerense, y a nivel local de las unidades geomorfológicas que las componen, junto al análisis integral de los modelos conceptuales permitieron concluir que:

- Geomorfológicamente el área de estudio comprende depósitos de crestas de playa (Cpc y Cpi) asociados a la migración de una espiga litoral, a los que se superponen depósitos de médanos (M-II y M-III) y mantos arenosos (M-I). Todos estos depósitos se comportan como acuíferos constituyendo unidades hidrogeológicas de relevancia para la población y hábitat del lugar.
- Dichas unidades se caracterizan por ser topográficamente elevadas y por presentar una granulometría y mineralogía poco variable. La granulometría es principalmente de arenas finas y la mineralogía compuesta por clastos de cuarzo, feldespatos, plagioclasas, anfíboles, piroxenos, líticos, fragmentos de conchillas, óxidos (magnetita) e hidróxidos de hierro. Por otro lado, se destaca la presencia evaporitas (halita, yeso) en superficie.
- La importancia hidrogeológica de los distintos depósitos arenosos y geoformas radica en que al ser unidades de alta permeabilidad facilitan la rápida infiltración del agua de lluvia.
- La recarga ocurre preferencialmente en periodos de excesos hídricos (entre abril y octubre) produciendo ascensos en el nivel freático. Hacia el sector norte del área de estudio, la recarga del agua subterránea se origina no solo por las precipitaciones sino también por la fuerte influencia mareal.
- El flujo local ocurre desde las zonas topográficamente elevadas (M-I, M-II, M-III, Cpc y Cpi) hacia las más deprimidas (Bi y C), comportándose las áreas deprimidas como zonas de descarga en donde el nivel freático puede aflorar en los periodos de excesos hídricos.
- Los rasgos geomorfológicos, tienen una influencia directa en la dinámica del agua subterránea la cual influye en su salinidad. La morfología y topografía de los depósitos condicionan la salinidad del agua, siendo dulce en aquellos de expresión topográfica más elevadas (M-III, M-II y M-I). Hacia las crestas de playa, las cuales son topográficamente más bajas, son salobres en las ubicadas actualmente en zonas continentales (Cpc) y salinas en las que presentan influencia mareal (Cpi).
- La composición química del agua subterránea está controlada por características propias de cada unidad geomorfológica, de esta manera el Sector Sur y Central en donde se desarrollan las mismas unidades geomorfológicas la salinidad y composición química del agua subterránea es muy similar. Mientras que, en el Sector Norte, si bien están presentes las crestas de playa y los bajos intercrestales, estas unidades tienen influencia mareal lo que produce marcados cambios en la salinidad y química del agua. En base a esto se generaron dos modelos conceptuales en donde se resumen los principales procesos y variables que influyen en la composición química del agua de cada sector y

unidad geomorfológica (M-I, M-II, M-III, Cpc para los sectores Sur y Central, y Cpi, LP, Bi para el sector Norte).

- Para el sector Sur y Central la recarga del agua subterránea es producto de la rápida infiltración del agua de lluvia. Esta característica queda evidenciada en los valores de isótopos estables de la molécula de agua, los que son similares a los de la lluvia local o registran en ocasiones porcentajes muy bajos de evaporación previa a la infiltración. La composición química del agua queda entonces condicionada por la interacción del agua con los sedimentos. En las unidades M-I, M-II y M-III, el agua de lluvia que infiltra reacciona con el $\text{CO}_{2(g)}$ presente en la zona no saturada y genera HCO_3^- y H^+ . Estos últimos propician la disolución de los carbonatos presentes en los sedimentos dando lugar a facies químicas de tipo Ca- HCO_3 . Por su parte en la unidad Cpc, al infiltrar el agua de lluvia reacciona con las sales solubles (principalmente halita y en menor medida yeso) presente en el suelo, aportando iones en solución ($>\text{Cl}^-$ y Na^+ , $<\text{SO}_4^{2-}$ y Ca^{+2}) y generando así mayor variabilidad en las facies hidroquímicas, desde Na-Cl a Na- HCO_3 . Los bajos entre las crestas (C) presentan facies Na- HCO_3 y funcionan como sitios de descarga local y reciben también el aporte directo de agua de lluvia.
- En el Sector Norte, la dinámica y la química del agua está fuertemente condicionada no solo por el aporte de las lluvias sino principalmente por la recarga que sucede por inundación mareal. Estos dos aportes se evidencian en la señal isotópica donde los valores de isótopos estables de la molécula de agua presentan valores asociados a una señal isotópica entre la lluvia local y el agua de mar. No obstante, si bien la composición química del agua está dominada por facies Na-Cl que responden a la mezcla de agua meteórica con agua de mar, también influyen procesos de disolución de sales que se precipitan superficialmente por evaporación total del agua mareal en periodos de déficit hídrico. La evaporación y precipitación de sales y su posterior disolución ya sea por agua de lluvia como por agua mareal, está condicionada por los periodos de excesos o déficits hídricos, así como también por la influencia del flujo mareal. La influencia de varios factores (climáticos y mareales) conlleva a variaciones temporales en la salinidad y el contenido iónico del agua superficial y subterránea.
- Respecto de los elementos minoritarios, éstos son aportados a partir de la interacción entre el agua y el sedimento. El aporte de As, podría atribuirse a la alteración del vidrio volcánico o a la desorción desde óxidos e hidróxidos de Fe y Mn. Con respecto al Fe y Mn pueden ser aportados por la alteración de minerales ferromagnesianos (como piroxenos o anfíboles) u óxidos e hidróxidos de hierro – manganeso.
- La calidad química del agua subterránea en el caso de los médanos sobreimpuestos (M-II y M-III) y mantos arenosos (M-I) muestra valores aceptables en cuanto a la concentración de iones mayoritarios, resultando una restricción el alto contenido natural de arsénico, hierro y manganeso. En las crestas de playa ubicadas en zonas continentales, en general predominan aguas con contenidos no aceptables para uso humano, registrando concentraciones elevadas de distintos iones, tanto mayoritarios como minoritarios.
- Comprender los factores y procesos que condicionan la química del agua subterránea en los ambientes asociadas a la espiga arenosa formada desde Punta Médanos hasta Punta Rasa, resultan de vital importancia no solo para asegurar el abastecimiento de agua en la población que allí habita, sino también adquiere especial interés para

comprender las condiciones ambientales de los distintos hábitats alojados en las Reservas Naturales que se desarrollan en el área.

- Los resultados obtenidos en esta tesis permitieron generar información geohidrológica e hidrogeoquímica en zonas carentes de antecedentes. Esta información constituye un insumo básico en el manejo de los recursos hídricos de la región.

REFERENCIAS

- ADAM, P. BERTNESS.; M.D; DAVY A.J.; ZEDLER, J.B. 2008. Saltmarsh: 157-171. En: POLUNIN, N. (ed.). Aquatic ecosystems: trends and global prospects. Cambridge University Press, Cambridge, Gran Bretaña.
- AHLHORN, F. 2018. Hydrology of (shallow) coastal regions. In: Integrated Coastal Zone Management. Springer Vieweg, Wiesbaden. 49–62.
- ALLEN, J.R.L. 2000. Morphodynamics of Holocene salt marshes: a review sketch from the Atlantic and Southern North Sea coasts of Europe. Quaternary Science Reviews 19: 1155-1231.
- ALY, A. A., AL-OMRAN, A. M.; ALHARBY, M. M. 2015. The water quality index and hydrochemical characterization of groundwater resources in Hafar Albatin, Saudi Arabia. Arabian Journal of Geosciences. 8(6): 4177-4190.
- ÁLVAREZ, M. P.; CAROL, E.; DAPEÑA, C. 2015. The role of evapotranspiration in the groundwater hydrochemistry of an arid coastal wetland (Península Valdés, Argentina). Science of The Total Environment. 506: 299-307.
- ANDERSON, J. T.; DAVIS, C. A. 2013. Wetland Techniques: Volume 1: Foundations. Springer Science & Business Media.
- ANDREO, B. 1997. Hidrogeología de acuíferos carbonatados en las Sierras Blanca y Mijas Cordillera Betica, Sur de España). Confederación Hidrográfica del Sur de España y Servicio de Publicaciones de la Universidad de Málaga, Málaga. 489.
- ANGELLA, G.; FRÍAS, C.; SALGADO, R. 2016. Conceptos básicos de las relaciones agua-suelo-planta. https://www.researchgate.net/publication/322888562_Conceptos_basicos_de_las_relaciones_agua-suelo-planta.
- APPELO, C. A. J.; POSTMA, D. 2005. Geochemistry. Groundwater and pollution, vol. 536.
- APHA 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation: 1-541.
- AUGE, M. 2004. Regiones hidrogeológicas: República Argentina y provincias de Buenos Aires, Mendoza y Santa Fe.
- AYENEW, T.; DEMLIE, M.; WOHNLICH, S. 2008. Hydrogeological framework and occurrence of groundwater in the Ethiopian aquifers. Journal of African Earth Sciences. 52(3): 97-113.
- BEAR, J. 1979. Hydraulics of Groundwater. McGraw Hill.
- BÉRTOLA, G. R. 1995. Geomorfología y sedimentología de los ambientes mareales de la Bahía Samborombón, provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata (UNLP).
- BÉRTOLA, G.R.; MASSONE, H.; OSTERRIETH, M.L. 1993. Estudio geológico integral de Punta Rasa, cabo San Antonio, provincia de Buenos Aires. Situación Ambiental de la Provincia de Buenos Aires; a. Recursos y rasgos naturales en la evaluación ambiental. 3:1-28.
- BOCANEGRA, E.; MASSONE, H.; FERRANTE, A.; QUIROZ LONDOÑO, O.; LURETIG, M. 2007. Sustentabilidad de la explotación de aguas subterráneas en el Partido de La costa, Provincia de Buenos Aires. III Seminario hispanoamericano de Temas Actuales de la Hidrogeología Subterránea y V Congreso de Hidrogeología. Paraná, Entre Ríos, Argentina.

BRACACCINI, O. 1972. Cuenca del Salado [The Salado basin]. En: Turner JC (ed) Geología regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, Argentina. 407–418.

BRINSON, M.M.1993. A Hydrogeomorphic Classification for Wetlands. Wetlands Research Program Technical Report WRP-DE-4. US Army Corps of Engineers Waterways Experimental Station. 1-103.

BURGOS, J. J.; VIDAL, A. L. 1951. The Climates of the Argentine Republic According to the New Thornthwaite Classification. Annals of the Association of American Geographers. 41(3): 237-263.

CAA, 2012. Código Alimentario Argentino, Ley 18.284, Capítulo XII, Bebidas Alcohólicas: bebidas hídricas, agua y agua gasificada.

CAROL, E.; KRUSE, E.E.; POUSA, J. 2008. Environmental hydrogeology of the southern sector of the Samborombon Bay wetland, Argentina. Environmental Geology. 54(1): 95-102.

CAROL, E.; KRUSE, E.; MAS PLA, J. 2009. Hydrochemical and isotopic evidence of groundwater salinization processes on the coastal plain of Samborombón Bay, Argentina. Journal of Hydrology. 365: 335–345.

CAROL, E.; KRUSE, E.; POUSA, J. 2011. Influence of the geologic and geomorphologic characteristics and of crab burrows on the interrelation between surface water and groundwater in an estuarine coastal wetland. Journal of Hydrology. 403: 234 – 241.

CAROL, E.; ÁLVAREZ, M.P. 2016. Processes regulating groundwater chloride content in marshes under different environmental conditions: a comparative case study in Peninsula Valdés and Samborombón Bay, Argentina. Continental Shelf Research. 115: 33–43.

CAROL, E. S., ALVAREZ, M., & BORZI, G. E. 201). Assessment of factors enabling halite formation in a marsh in a humid temperate climate (Ajó Marsh, Argentina). Marine pollution bulletin. 106(1-2): 323-328.

CARRETERO, S.C. 2008. Análisis del contenido de hierro y manganeso en el agua para consumo humano en San Clemente del Tuyú. XVI Jornadas de Jóvenes Investigadores de la Asociación de Universidades Grupo Montevideo "La Investigación en la Universidad Latinoamericana, a 90 Años de la Reforma de Córdoba. Investigación e innovación para la inclusión social" (27 al 29 de octubre).

CARRETERO, S.C. 2011. Comportamiento hidrológico de las dunas costeras en el sector nororiental de la provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata.

CARRETERO, S.C.; KRUSE, E.E. 2011. Influencia de las variaciones climáticas en la recarga subterránea en la región costera de la provincia de Buenos Aires. III Congreso Internacional sobre Cambio Climático y Desarrollo Sustentable, La Plata.

CARRETERO, S.C.; KRUSE E.E. 2012. Relationship between precipitation and water-table fluctuation in a coastal dune aquifer: northeastern coast of the Buenos Aires province, Argentina. Hydrogeology journal. 20.8: 1613-1621.

CARRETERO, S.C.; KRUSE, E. E. 2014. Impacto de la urbanización en la infiltración en un área costera, Argentina. Tecnología y Ciencias del Agua. V(6): 5-24.

CARRETERO, S.C.; KRUSE, E. E. 2015. Iron and manganese content in groundwater on the northeastern coast of the Buenos Aires Province, Argentina. Environmental Earth Sciences. 73: 1983-1995.

CARRETERO, S.C.; DAPEÑA, C.; KRUSE, E.E. 2013. Hydrogeochemical and isotopic characterization of groundwater in a sand-dune phreatic aquifer on the northeastern coast of the province of Buenos Aires, Argentina. *Isotopes in environmental and health studies*. 49.3: 399-419.

CARRETERO, S.C.; BRAGA, F.; KRUSE, E.E.; TOSI, L. 2014. Temporal analysis of the changes in the sand-dune barrier in the Buenos Aires Province, Argentina, and their relationship with the water resources. *Applied Geography*. 54: 169-181.

CARRETERO S.C.; PERDOMO S.; KRUSE E.; AINCHIL J. 2016. Respuesta eléctrica de la zonación química en un nivel acuífero en la costa arenosa oriental de la Provincia de Buenos Aires Calidad del agua subterránea. IX Congreso Argentino de Hidrogeología. 93-100.

CAVIGLIA, G. y MORRO, A. 1992. *Inhomogeneous waves in solids and fluids*. World Scientific. 1-129.

CFI. 1989. CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES. Evaluación del Recurso Hídrico Subterráneo de la Región Costera Atlántica de la Provincia de Buenos Aires Regiones 1 y 2 Punta Rasa-Punta Médanos. Provincia de Buenos Aires. Informe Final. Tomo 2. Geología y Geomorfología.

CFI. 1990a. CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES. Evaluación del Recurso Hídrico Subterráneo de la Región Costera Atlántica de la Provincia de Buenos Aires Región I Punta Rasa-Punta Médanos. Informe Final. Tomo I. Hidrología Subterránea: 1-202.

CFI. 1990b. CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES. Evaluación del Recurso Hídrico Subterráneo de la Región Costera Atlántica de la Provincia de Buenos Aires. Tomo II. Geología y Geomorfología: 3-153.

CODIGNOTTO, J. (1997). Geomorfología y dinámica costera.

CODIGNOTTO, J.O.; AGUIRRE, M.L. 1993. Coastal evolution, changes in sea level and molluscan fauna in northeastern Argentina during the Late Quaternary. *Marine Geology*. 110 (1-2): 163-175.

COLLINS, W.H.; EASLEY, D.H. 1999. Fresh-water lens formation in an unconfined barrier- island aquifer. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 35 (1): 1-22.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. 1976. *Hidrología subterránea*. Barcelona. Omega: 1-1161.

CUSTODIO, E., y LLAMAS, M. R. 2001. *Hidrología subterránea (Vol. 2)*. Barcelona: Omega.

DA LIO, C.; TOSI, L.; ZAMBON, G.; VIANELLO, A.; BALDIN, G.; LORENZETTI, G.; MANFÈ, G.; TEATINI, P. 2013. Long-term groundwater dynamics in the coastal confined aquifers of Venice (Italy). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 135: 248-259.

DAPEÑA, C.; PANARELLO, H. O. 2004. Composición isotópica de la lluvia de Buenos Aires. Su importancia para el estudio de los sistemas hidrológicos pampeanos. *Rev. Latino-Americana de Hidrogeología*. 4: 17-25.

DE FRANCO, R.; BIELLA, G.; TOSI, L.; TEATINI, P.; LOZEJ, A.; CHIOZZOTTO, B.; GIADA, M.; RIZZETTO, F.; CLAUDE, C.; MAYER, A.; BASSAN, V.; GASPARETTO-STORI, G. 2009. Monitoring the saltwater intrusion by time lapse electrical resistivity tomography: the Chioggia test site (Venice Lagoon, Italy). *J. Appl. Geophys.* 69 (3-4):117-130.

DOYLE, M.O.; OTTE, M.L. 1997. Organism-induced accumulation of Fe, Zn and As in wetland soils. *Environmental Pollution*. 96:1-11.

DOMENICO, P. A.; SCHWARTZ, F. W. 1998. Physical and chemical hydrogeology . New York: Wiley.

DRAGANI, W. C.; CODIGNOTTO, J. O.; ROMERO, S. I. 2014. Evolución geomorfológica de Punta Rasa, Pcia. de Buenos Aires, Argentina. Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales nueva serie. 16 (2): 107-113.

EHYA, F., MARBOUTI, Z. 2016. Hydrochemistry and contamination of groundwater resources in the Behbahan plain, SW Iran. Environmental Earth Sciences. 75(6): 1-13.

FERREYRA SPADA, R. 2010. Curso de Posgrado "Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera". Maestría en Riego y Drenaje, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza.

FIDALGO, F. 1975. Geología superficial de la llanura bonaerense. En: Geología de la Provincia de Buenos Aires, VI Congreso Geológico Argentino, Relatorio, Bahía Blanca, 1975.

FOSTER, S. S. D.; SKINNER, A. C. 1995. Groundwater protection: the science and practice of land surface zoning. IAHS Publications-Series of Proceedings and Reports-Intern Assoc. Hydrological Sciences. 225: 471-482.

FRENGUELLI, J. 1950. Rasgos generales de la morfología y geología de la provincia de Buenos Aires. Provincia de Buenos Aires, Ministerio de Obras Publicas de la Provincia de Buenos Aires. Lab. Ensayos Materiales Invest. Tecnol.(LEMIT) Ser. II (33): 1-72.

FUNDACIÓN VIDA SILVESTRE. 2014. Relevamiento Ecológico Rápido del Establecimiento Los Ñandúces (Provincia de Buenos Aires, Argentina). LARTIGAU, B.; PRELIASCO P. Sistema de Relevamientos Ecológicos Rápidos Red de Refugios de Vida Silvestre. Para la conservación y el uso sustentable de la naturaleza en campos privados. Programa de Áreas Protegidas: 1-105.

FUCKS, E. E., SCHNACK, E. J., AGUIRRE, M. L. 2010. Nuevo ordenamiento estratigráfico de las secuencias marinas del sector continental de la Bahía Samborombón, provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina. 67(1): 27–39.

FUCKS, E., PISANO, M. F., HUARTE, R. A., DI LELLO, C. V., MARI, F., CARBONARI, J. E., 2015. Stratigraphy of the fluvial deposits of the Salado river basin, Buenos Aires Province: Lithology, chronology and paleoclimate. Journal of South American Earth Sciences. 60:129-139.

GALLIARI, M. , TANJAL, C., CAROL, E., RICHIANO, S. 2017. Gradiente de salinidad en marismas como un indicador de la descarga subterránea: caso de estudio en el extremo sur del humedal de Bahía Samborombón. En VI Congreso Bianual PROIMCA y IV Congreso Bianual PRODECA Bahía Blanca.

GEOSERVICE E.O.C. 2019. The TanDEM-X 90m Digital Model. 2019.

GIRIDHARAN, L.; VENUGOPAL, T.; JAYAPRAKASH, M. 2008. Evaluation of the seasonal variation on the geochemical parameters and quality assessment of the groundwater in the proximity of River Cooum, Chennai, India. Environmental monitoring and assessment. 143(1): 161-178.

GÓMEZ, L. 2021. Procesos de recarga/descarga en acuíferos someros de la región costera en la provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata.

GÓMEZ, S.E.; TORESANI, N.I. 1998. Región 3 Pampas: 97-114. En: CANEVARI, P.; BLANCO D.E.; BUCHER E.; CASTRO, G.; DAVIDSON, I. (eds.). Los Humedales de la Argentina: Clasificación, situación actual, conservación y legislación. Wetlands International. Publicación 46, Humedales para las Américas, Buenos Aires, Argentina.

GONFIANTINI, R. 1978. Standards for stable isotope measurements in natural compounds. *Nature*, 271 (5645): 534-536.

GONFIANTINI, R. 1986. Environmental isotopes in lake studies. *Handbook of environmental isotope geochemistry*. 2: 113- 168.

GONZÁLEZ, N. 2005. Los ambientes hidrogeológicos de la Provincia de Buenos Aires. En: de BARRIO, R.; ETCHEVERRY R.; CABALLÉ, M.; LLAMBÍAS, E. (eds): *Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino*, La Plata, Buenos Aires: 359 – 374.

GREGGIO, N.; GIAMBASTIANI, B.; BALUGANI, E.; AMAINI, C.; ANTONELLINI, M. 2018. High-resolution electrical resistivity tomography (ERT) to characterize the spatial extension of freshwater lenses in a salinized coastal aquifer. *Water* 10 (8): 1067.

GÜLER, C.; THYNE, G. D. 2004. Delineation of hydrochemical facies distribution in a regional groundwater system by means of fuzzy c-means clustering. *Water Resources Research*. 40(12).

GUERRERO, RAÚL A.; PIOLA, Alberto R. 1997. Masas de agua en la plataforma continental.

HALLETT, B. M.; DHARMAGUNAWARDHANE, H. A.; ATAL, S.; VALSAMI-JONES, E.; AHMED, S.; BURGESS, W. G. 2015. Mineralogical sources of groundwater fluoride in Archaean bedrock/regolith aquifers: Mass balances from southern India and north-central Sri Lanka. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 4: 111-130.

HAMMARLUND, L.; PIÑONES, J. 2009. Arsenic in geothermal waters of Costa Rica. TRITA-LWR (Master Thesis). A Minor Field Study. KTH, Stockholm, Sweden, 2009.

HERAS, R. 1972. *Manual de hidrología: hidrología de las crecidas (tomo 4)*. España. Servicio de Edición del centro de estudio hidrográfico y Dirección General de obras hidráulicas. Obras Hidráulicas y Centro Estudios Hidrográficos. Madrid.

ILGEN, A., RYCHAGOV, S. & TRAINOR, T. 2011. Arsenic speciation and transport associated with the release of spent geothermal fluids in Mutnocsy field. Kamchatka, Russia. *Chemical Geology*, 288: 115-132.

INDEC. 2010 Instituto Nacional de Estadística y Censos, República Argentina. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010. <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Censo Nacional-3-6-Censo-2010>. <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-CensoProvincia-999-999-06-336-2010>

INTA Castelar, 1989. Descripción de Cartas de Suelo de la Provincia de Buenos Aires. Escala. 1:500.000 Cap.4.1: 43-55.

INTROCASO, A.; RAMOS, V. 1984. La cuenca del Salado: un modelo de evolución aulacogénica. IX Congreso Geológico Argentino, Bariloche: 27-46.

ISLA, F.I.; CORTIZO, L.C.; SCHNACK, E.J. 1996. Pleistocene and Holocene beaches and estuaries along the Southern Barrier of Buenos Aires, Argentina. *Quaternary Science Reviews*. 15(8-9): 833-841.

ISLA, F.I.; CORTIZO, L.C.; ORELLANO, H.; Turno, A. 2001. Dinámica y evolución de las barreras medanosas, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Brasileira de Geomorfología*. 2(1).

KEDDY, P. & FRASER, L. H. 2000. Four general principles for the management and conservation of wetlands in large lakes: the role of water levels, nutrients, competitive hierarchies and centrifugal organization. *Lakes & Reservoirs: Research & management*, 53(3): 177-185.

- KINNIBURGH, David G.; KOSMUS, Walter. 2002. Arsenic contamination in groundwater: some analytical considerations. *Talanta*, vol. 58, no 1, p. 165-180.
- KOKOT, R.R. 2010. Espigas indicadoras de proveniencia de olas en la costa argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 67(1): 19-26.
- KRUSE, E.E.; et al. 2012. Critical Problems for the freshwater supply to summer resorts on the Eastern Coast of the Buenos Aires Province, Argentina.
- LADOUCHE, B.; WENG, P. 2005. Hydrochemical assessment of the Rochefort marsh: Role of surface and groundwater in the hydrological functioning of the wetland. *Journal of Hydrology*. 314: 22–42.
- LEE, J.Y.; RAZA, M.; PARK, Y.C. 2018. Current status and management for the sustainable groundwater resources in Korea. *Episodes*. 41 (3): 179–191.
- LEY N°24.051/1991. HONORABLE CONGRESO DE LA NACIÓN ARGENTINA. Residuos Peligrosos. REGIMEN LEGAL. Fecha de sanción 17-12-1991. Boletín Nacional del 17-Ene-1992.
- LÓPEZ R.A., 2010. Geología y Dinámica costera del Cabo San Antonio, Buenos Aires. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires: 1-367 (inédito).
- LÓPEZ, R. A.; MARCOMINI, S. C.; BUNICONTRO, M. P. 2016. Morfodinámica de las dunas costeras del cabo San Antonio, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Latin American journal of sedimentology and basin analysis*. 23(2): 111-125.
- LUENGO, M. S. (2019). Vegetación y ambientes del Holoceno en el sector continental de la Bahía Samborombón, provincia de Buenos Aires: cambios del nivel del mar (Tesis Doctoral Universidad Nacional de La Plata).
- LUQUE J. L. 2018. Calidad de agua para bebida de animales. INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria).
- MARANI, M.; SILVESTRI, S.; BELLUCO, E.; URSINO, N.; COMERLATI, A.; TOSATTO, O.; PUTTI, M. 2006. Spatial organization and ecohydrological interactions in oxygen-limited vegetation ecosystems. *Water Resources Research*. 42(6). doi:10.1029/2005WR004582.
- MARCOMINI, S.C.; LÓPEZ, R. Á. 1997. Influencia de la urbanización en la dinámica costera, Villa Gesell, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Asociación Argentina de Sedimentología*. 4:79-96.
- MARCOMINI, S.C.; LOPEZ, R. Á. 2010. Erosión y manejo costero en Las Toninas, partido de La Costa, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 66(4): 490-498.
- MAZZONI, MARIO M.; SPALLETTI, LUIS A. Características sedimentológicas de playas en erosión y acreción. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 1980, vol. 35, no 3, p. 55-363.
- MITSCH, W.J.; GOSSELINK, J.G. 1993. *Wetlands*. 2nd ed. Van NOSTRAND REINHOLD, New York, EEUU.
- MITSCH, W.J.; GOSSELINK, J.G. 2000. The value of wetlands: the importance of scale and landscape setting. *Ecol. Econ*. 35: 25–30.
- MOLLEMA, P.N.; ANTONELLINI, M. 2013. Seasonal variation in natural recharge of coastal aquifers. *Hydrogeology Journal*. 21(4): 787-797.
- MÖLLER, I.; SPENCER T. 2002. Wave dissipation over macro-tidal saltmarshes: effects of marsh edge typology and vegetation change. *Journal of Coastal Research*, 36: 506-521.

MONTALTO, F. A.; STEENHUIS, T. S.; PARLANGE, J. Y. 2006. The hydrology of Piermont Marsh, a reference for tidal marsh restoration in the Hudson river estuary, New York. *Journal of Hydrology*. 316(1-4): 108-128.

MOR, S.; RAVINDRA, K.; DAHIYA, R. P.; CHANDRA, A. 2006. Leachate characterization and assessment of groundwater pollution near municipal solid waste landfill site. *Environmental monitoring and assessment*. 118(1): 435-456.

MOUSSA, A. B.; ZOUARI, K.; MARC, V. 2011. Hydrochemical and isotope evidence of groundwater salinization processes on the coastal plain of Hammamet–Nabeul, north-eastern Tunisia. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/b/c*. 36(5-6): 167-178.

ODUM, E.P. 1968. A research challenge: evaluating the productivity of coastal and estuarine water. *Proceedings of the second sea grant conference, University of Rhode Island, New York, EEUU*: 63-64

PARKER, G., et al. 1979. Geología de la planicie costera entre Pinamar y Mar de Ajó, provincia de Buenos Aires.

PARKER, G.; PERILLO, G.M.E.; VIOLANTE, R.A. 1978. Características geológicas de los bancos alineados (linear shoals), frente a Punta Médanos Provincia de Buenos Aires. *Acta Oceanographica Argentina*, 2(1): 11-50.

PORTA, J., LÓPEZ-ACEVEDO, M.; ROQUERO, C. 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ed. Mundi-Prensa: 1- 807.

POUSA, J.; TOSI, L.; KRUSE, E.; GUARAGLIA, D.; BONARDI, M.; MAZZOLDI, A.; RIZZETTO, F.; AND SCHNACK, E. 2007. Coastal processes and environmental hazards: the Buenos Aires (Argentina) and Venetian (Italy) littorals. *Environmental Geology*. 51: 1307–1316.

PYZOHA, J.E.; CALLAHAN, T.J.; SUN, G.; TRETTIN, C.C.; MIWA, M. 2008. A conceptual hydrologic model for a forested Carolina bay depressional wetland on the Coastal Plain of South Carolina, USA. *Hydrol. Process. Int. J.* 22 (14): 2689–2698.

PRIETO, A. R., MOURELLE, D., PELTIER, W. R., DRUMMOND, R., VILANOVA, I., RICCI, L. 2017. Relative sea-level changes during the Holocene in the Río de la Plata, Argentina and Uruguay: A review. *Quaternary international*. 442: 35-49.

RAGGIO, F.; GERSTER, R.; WELSINK, H. 2011. Cuencas del Salado y Puta del Este (YPF S.A.). El presente trabajo describe las características de estos depocentros así como su actividad exploratoria. *Protécnica*: 80-88.

RAMOS, V.A. 1999. Las provincias geológicas del territorio argentino. *Geología Argentina*, 29(3): 41-96.

RODRIGUES CAPÍTULO, Leandro. 2015. Evaluación geohidrológica en la región costera oriental de la provincia de Buenos Aires: Caso de estudio: Pinamar.

RODRÍGUEZ-REVELO, N.; ESPEJEL, I.; GARCÍA, C.A., OJEDA-REVAH, L.; VÁZQUEZ, M.A.S. 2018. Environmental Services of Beaches and Coastal Sand Dunes as a Tool for Their Conservation. In: *Beach Management Tools-Concepts, Methodologies and Case Studies*, Springer, Cham.: 75-100.

ROLLERI, E.O. 1975. Provincias geológicas bonaerenses. En: *Relatorio VI Congreso Geológico Argentino*: 29-54.

RUPPEL, C.; SCHULTZ, G.; KRUSE, S. 2000. Anomalous fresh water lens morphology on a strip barrier island. *Groundwater*. 38 (6): 872–881.

SANTUCCI, L. 2020. Dinámica de la relación agua superficial-agua subterránea como condicionante de los procesos geoquímicos que regulan la calidad del agua. Tesis Doctoral Universidad Nacional de La Plata.

SAN MARTÍN, L.; GONZALEZ, E.; GONZALEZ, G.; CAVALLOTO, J.; KANDUS, P. 2014. Interpretación geomorfológica en el marco de un Inventario de humedales: El caso de la Llanura Costera de Ajó. Actas del E-ICES10. Buenos Aires.

SAXTON, K. E. & RAWLS, W. J. 2006. Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. Soil science society of America Journal, 70(5): 1569-1578.

SEMENIUK, V., 1996. Coastal forms and Quaternary processes along the arid Pilbara coast of northwestern Australia. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 123 (1-4): 49-84.

SERVICIO DE HIDROGRAFÍA NAVAL. 2008. Tabla de mareas. Publicación H-610. Buenos Aires, Argentina.

SILVESTRI, S.; DEFINA, A.; MARANI, M. 2005. Tidal regime, salinity and saltmarsh plant zonation. Estuar.Coast.Shelf Sci., 62: 119-130.

SIMLER, R. 2009. Diagrammes software.

SMEDLEY, P. L.; KINNIBURGH, D. G. 2002. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. Applied geochemistry. 17(5): 517-568.

SMEDLEY, Pauline L. 2008. Sources and distribution of arsenic in groundwater and aquifers.

SPALLETI, L. A.; MAZZONI, M. M. 1979. Estratigrafía de la Formación Sarmiento en la barranca sur del lago Colhue Huapi, provincia de Chubut. Revista de la Asociación Geológica Argentina. 34(4): 271-281.

SPIVAK E.D. 2016. El cangrejo *Neohelice granulata* y los cangrejales (Decapoda: Brachyura). El Mar Argentino y sus Recursos Pesqueros. 6: 127-134.

STUYFZAND, P.J. 2017. Observations and analytical modeling of freshwater and rainwater lenses in coastal dune systems. J. Coast Conserv. 21 (5): 577-593.

TANJAL C.; CAROL E.; RICHIANO S.; SANTUCCI L. 2017. Freshwater lenses as ecological and population sustenance, case study in the coastal wetland of Samborombón Bay (Argentina). Marine Pollution Bulletin. 122: 426-431.

TEATINI, P.; TOSI, L.; VIEZZOLI, A.; BARADELLO, L.; ZECCHIN, M.; SILVESTRI, S. 2011. Understanding the hydrogeology of the Venice Lagoon subsurface with airborne electromagnetics. Journal of Hydrology. 411: 342-354.

TERUGGI M. E.; CHAAR, E.; REMIRO, J. R.; LIMOUSI, T. 1959. Las arenas de la costa de la provincia de Buenos Aires entre cabo San Antonio y Bahía Blanca. Provincia de Buenos Aires, Laboratorio de Ensayo de Materiales e Investigaciones Tecnológicas (LEMIT). 2: 1-37.

TERUGGI, Mario F. 1959. THE TWO NATURAL SCIENCE MUSEUMS OF ARGENTINA. Museum International, vol. 12(4): 241-247.

THOMAS HE, Y., FITZMAURICE, A., BILGIN, A., CHOI, S., O'DAY, P., HORST, J., HARRINGTON, J., REISINGER, H., BURRIS, D. & HERING, J. 2010. Geochemical processes controlling arsenic mobility in groundwater: A case study of arsenic mobilization and natural attenuation. Applied geochemistry. 25: 69-80.

- THORNWAITE, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1): 55-94.
- THORNWAITE, C. W. & MATHER, J. R. 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Publ. Climatol.*, 10 (3): 185-311.
- TOSI, L.; TEATINI, P.; CARBOGNIN, L.; BRANCOLINI, G. 2009. Using high resolution data to reveal depth-dependent mechanisms that drive land subsidence: The Venice coast, Italy. *Tectonophysics*. 1(474): 271-284.
- TOSI, L.; TEATINI, P.; & STROZZI, T. 2013. Natural versus anthropogenic subsidence of Venice. *Scientific reports*. 3: 2710.
- TRICART, J. 1973. Geomorfología de la pampa deprimida. INTA, Colección Científica, 12: 202.
- TRICART J. 1974. Structural geomorphology. *Geographies for advanced study*. 551.1 T7: 1-305.
- TURIC, M.A., NEVISTIC, V.A. Y G.A. REBAY. 1996. Geología y Recursos Naturales de la Plataforma Continental. Asociación Geológica Argentina e Instituto Argentino del Petróleo, Buenos Aires: 405-422.
- MORAND, D. T. USDA-SOIL TAXONOMY. 2010. The World Reference Base for Soils (WRB) and Soil Taxonomy: an initial appraisal of their application to the soils of the Northern Rivers of New South Wales. En 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. Brisbane, Australia: 28-31.
- VAN DE PLASSCHE, O. 1994. Coastal Evolution: Late Quaternary Shoreline Morphodynamics. Cambridge University Press.
- VANDENBOHEDE, A.; LEBBE, L. 2012. Groundwater chemistry patterns in the phreatic aquifer of the central Belgian coastal plain. *Appl. Geochem.* 27 (1): 22-36.
- VELASCO, A.M., PÉREZ-RUZAFÁ, A.; MARTÍNEZ-PAZ; J. M.; MARCOS, C. 2017. Ecosystem services and main environmental risks in a coastal lagoon (Mar Menor, Murcia, SE Spain): The public perception. *Journal for Nature Conservation*.
- VELASCO MOLINA, H.A. 1983. Uso y manejo del suelo (Teoría y Laboratorio). Ed. Limusa. México D.F.: 1-113.
- VILANOVA, I. Y PRIETO, A.R. 2012. Historia de la Vegetación de Las Llanuras Costeras de la Bahía Samborombón (~ 35, 5° s), Argentina, desde 7800 14C Años. *Ameghiniana*, 49 (3): 303-318.
- VIOLANTE, R. A.; PARKER, G. 1992. Estratigrafía y rasgos evolutivos del Pleistoceno medio a superior-Holoceno en la llanura costera de la región de Faro Querandí (Provincia de Buenos Aires). *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 47(2): 215-228.
- VIOLANTE, R. A.; PARKER, G. 2000. El Holoceno en las regiones marinas y costeras del nordeste de la provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 55(4): 337-351.
- VIOLANTE, R. A.; PARKER, G.; CAVALLOTTO, J. L. 2001. Evolución de las llanuras costeras del este bonaerense entre la bahía Samborombón y la laguna Mar Chiquita durante el Holoceno. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 56(1): 51-66.
- VIOLANTE, R., PARKER, G. 2004. The post-last glacial maximum transgression in the de la Plata River and adjacent inner continental shelf, Argentina. *Quaternary International* 114(1): 167-181.

WALRAEVENS, K. & Van Camp, M. 2005. Advances in understanding natural groundwater quality controls in coastal aquifers. In *Groundwater and Saline Intrusion. Selected papers from the 18th SWIM meeting.*, 1st edn. IGGM, Madrid: 449-463.

WEIS, P.; WINDHAM, L.; BURKE, D.J.; WEIS, J.S. 2002. Release into the environment of metals by two vascular salt marsh plants. *Marine Environmental Research* 54: 325-329.

WEIS, J.S., P. Weis. 2004. Metal uptake, transport and release by wetland plants: implications for phytoremediation and restoration. *Environmental International* 30:685-700.

YRIGOYEN, M.R. 1975. Geología del subsuelo y plataforma continental. En: *Relatorio 6º Congreso Geológico Argentino*: 139-168.

YRIGOYEN, M. R. 1999. Los depósitos cretácicos y terciarios de las cuencas del Salado y del Colorado. *Geología Argentina*, 29: 645-650.

ZAMBRANO, J. J. 1971. Las cuencas sedimentarias en la plataforma continental argentina. *Petrotecnica*, 21(4): 29-37.

ZAMBRANO, J.J.; URIEN, C.M. 1970. Geological outline of the basins in Southern Argentina and their continuation off the Atlantic shore. *Journal of Geophysical Research*, 75(8): 1363-1396.

ANEXOS

TABLA I. QUIMICA DE IONES MAYORITARIOS Y MINORITARIOS. SECTOR SUR. M-III: médanos sobreimpuestos al cordón actual; M-II médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales; M-I mantos arenosos. ND: no determinado.

fecha	Procedencia	Geoforma	Muestra	pH	T°C	CE μS/cm	STD mg/L	CO ₃ ⁻² mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	SO ₄ ⁻² mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	Ca ⁺² mg/L	Mg ⁺² mg/L	Na ⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	As mg/L	Fe mg/L	Mn mg/L	Sr mg/L
2/12/2017	aguas subterráneas	M-III	MDA1	8,3	22,4	824,0	543,8	0,0	388,2	67,4	8,4	0,9	91,0	34,5	42,0	21,0	0,08	3,40	0,05	0,01
			MDA2	8,0	22,6	453,0	299,0	18,0	222,0	18,4	6,0	1,0	55,6	20,0	21,8	14,1	0,12	7,13	0,05	0,00
			MDA3	8,0	22,4	436,0	287,8	0,0	290,7	36,5	5,2	1,5	74,2	15,8	32,8	7,9	0,01	5,24	0,05	0,01
		M-II	Pv1	8,3	21,8	1207,0	796,6	59,9	533,6	88,0	7,4	6,6	116,8	28,8	163,0	37,0	0,09	8,92	0,81	0,02
			Pv3	8,0	21,6	402,0	265,3	0,0	226,3	17,7	4,0	17,2	53,4	14,3	14,8	7,7	0,03	6,88	0,04	0,00
			Pv4	8,0	21,7	870,0	574,2	0,0	376,9	87,4	4,8	4,7	77,0	36,0	56,0	38,0	0,01	5,36	0,03	0,02
			Pv5	7,9	21,9	879,0	580,1	0,0	406,5	89,6	5,5	4,3	73,6	35,8	67,0	37,0	0,01	7,15	0,06	0,02
			Pv6	7,9	21,9	1477,0	974,8	0,0	546,7	216,0	17,4	28,1	130,1	56,3	175,0	24,8	0,05	7,55	0,07	0,02
			Pv7	8,2	21,8	532,0	351,1	0,0	337,8	48,6	5,2	2,1	66,5	22,2	44,0	14,0	0,08	8,00	0,05	0,01
			Pv9	8,0	21,2	940,0	620,4	0,0	453,5	91,7	5,5	4,7	101,3	39,6	81,0	13,6	0,04	6,91	0,05	0,01
Pv10		7,8	21,3	1088,0	718,1	0,0	417,0	137,0	5,3	4,6	110,0	24,3	108,0	25,7	0,02	8,20	0,02	0,02		
13/3/2018		M-III	MDA1	7,6	22,8	868,0	572,9	0,0	463,1	70,1	9,7	0,9	121,5	8,9	51,0	20,0	ND	ND	ND	ND
			MDA2	7,6	22,9	510,0	336,6	18,0	302,1	22,7	3,5	1,7	71,1	17,9	22,6	16,4	ND	ND	ND	ND
		M-II	Pv1	7,3	22,2	1166,0	769,6	0,0	661,6	81,9	12,5	13,1	112,5	28,3	143,0	27,0	ND	ND	ND	ND
			Pv4	7,3	22,3	1678,0	1107,5	0,0	495,3	158,8	14,3	42,2	158,1	37,1	142,0	58,0	ND	ND	ND	ND
			Pv5	7,4	22,3	884,0	583,4	55,6	371,7	65,8	7,4	10,2	99,4	40,5	61,0	30,0	ND	ND	ND	ND
			Pv6	7,4	22,1	1586,0	1046,8	0,0	705,1	199,4	18,8	41,8	160,0	45,4	204,0	24,8	ND	ND	ND	ND
			Pv7	7,7	22,6	592,0	390,7	0,0	349,1	47,0	6,0	2,5	62,1	21,1	48,0	14,7	ND	ND	ND	ND
			Pv9	8,2	22,3	953,0	629,0	0,0	537,1	69,2	6,5	7,4	129,6	26,2	86,0	14,4	ND	ND	ND	ND
			Pv10	7,5	22,2	1218,0	803,9	0,0	755,6	139,1	8,7	7,4	175,5	21,7	131,0	25,2	ND	ND	ND	ND
	22/8/2018	M-III	MDA1	7,3	19,4	967,0	638,2	0,0	405,7	96,5	13,4	1,1	87,5	32,4	81,0	13,0	0,01	0,14	0,04	9,40
MDA2			7,5	19,4	429,0	283,1	0,0	313,4	21,0	0,9	1,2	80,0	17,6	18,2	5,1	0,10	0,15	0,06	4,68	
MDA3			7,6	19,4	593,0	391,4	31,7	370,8	35,9	0,4	1,3	117,8	22,4	32,0	2,6	0,01	0,14	0,01	5,83	
M-II		Pv1	7,2	19,5	1110,0	732,6	0,0	724,3	68,2	88,8	9,2	76,6	30	172,0	19,0	0,11	0,27	0,03	6,99	
		Pv3	7,6	19,3	766,0	505,6	27,4	429,2	71,2	10,3	5,0	129,1	11,9	32,0	3,8	0,02	0,31	0,10	7,88	
		Pv5	7,5	19,1	1016,0	670,6	30,8	492,7	134,3	4,6	4,7	124,1	6,8	76,0	16,0	0,01	0,19	0,03	9,76	

"Procesos condicionantes de la calidad del agua subterránea en las zonas de borde continental del acuífero costero medanoso: aplicaciones al abastecimiento de agua en poblaciones rurales y al sustento de áreas naturales" M.J. Galliari

21/1/2019	M-I	Pv6	7,6	19,3	941,0	621,1	24,0	370,8	105,5	60,9	26,3	116,9	13,5	95,0	2,5	0,01	0,05	0,00	7,24
		Pv7	7,9	19,1	605,0	399,3	0,0	353,4	46,8	31,5	2,4	92,8	10,0	39,2	5,3	0,12	0,08	0,00	4,95
		Pv10	7,3	19,0	1125,0	742,5	0,0	605,0	143,7	3,5	4,9	177,8	2,8	93,0	8,6	0,02	0,13	0,00	8,16
		Pv11	7,4	19,4	457,0	301,6	0,0	317,7	18,9	4,2	3,5	76,6	10,6	21,0	5,4	0,02	0,20	0,02	4,23
		Pv13	7,7	19,3	644,0	425,0	0,0	431,8	43,1	3,7	2,9	87,8	11,4	30,1	6,6	0,04	0,14	0,00	5,53
		Pv14	7,8	19,3	802,0	529,3	0,0	475,3	40,5	12,8	3,1	109,1	12,4	31,5	14,0	0,03	0,24	0,02	4,69
	M-I	MAPV	8,0	19,5	690,0	455,4	0,0	350,8	76,5	13,9	15,8	98,1	19,3	34,4	9,8	0,07	0,39	0,35	7,48
	M-III	MDA1	7,6	21,4	826,0	545,2	0,0	369,6	64,1	11,6	1,2	45,4	21,7	63,0	5,0	ND	ND	ND	ND
		MDA2	7,8	21,4	645,0	425,7	22,3	201,4	14,7	2,8	1,5	37,8	9,4	15,5	14,0	ND	ND	ND	ND
		MDA3	8,0	21,4	605,0	399,3	12,8	195,8	35,5	6,9	1,1	65,3	6,0	36,6	13,0	ND	ND	ND	ND
	M-II	Pv1	7,9	21,0	1064,0	702,2	71,1	663,9	79,2	9,5	8,7	133,2	19,1	133,0	11,0	ND	ND	ND	ND
		Pv3	8,0	20,9	929,0	613,1	25,7	331,9	113,0	0,7	4,1	107,7	6,2	76,0	4,2	ND	ND	ND	ND
		Pv5	7,9	21,0	986,0	650,8	0,0	466,4	92,2	8,7	3,5	77,8	27,1	52,0	8,0	ND	ND	ND	ND
		Pv6	7,9	20,9	1621,0	1069,9	64,2	398,3	148,2	100,1	64,8	68,9	9,2	201,0	17,0	ND	ND	ND	ND
		Pv7	8,0	21,0	604,0	398,6	40,2	248,9	45,1	8,8	2,0	58,3	26,3	34,0	3,4	ND	ND	ND	ND
		Pv9	7,8	21,0	915,0	603,9	0,0	493,5	99,5	6,1	5,0	68,2	46,8	64,0	3,9	ND	ND	ND	ND
		Pv10	8,0	20,8	1078,0	711,5	0,0	459,2	125,0	3,0	4,1	54,0	32,3	89,0	6,3	ND	ND	ND	ND
		Pv14	7,7	21,4	696,0	459,4	0,0	302,1	36,2	12,3	2,0	49,0	19,5	25,4	15,0	ND	ND	ND	ND
	M-I	MAPV	8,2	20,9	683,0	450,8	49,7	201,4	95,7	11,6	11,6	78,5	40,8	27,0	9,0	ND	ND	ND	ND

TABLA II. BALANCE DE CARGAS Y CALCULO DE ERROR (%) EN LAS MUESTRAS DEL SECTOR SUR. M-III: médanos sobreimpuestos al cordón actual; M-II médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales; M-I mantos arenosos.

fecha	Procedencia	Geoforma	Muestra	pH	T°C	CE μS/cm	STD mg/L	CO ₃ ⁻² meq/L	HCO ₃ ⁻ meq/L	Cl ⁻ meq/L	SO ₄ ⁻² meq/L	NO ₃ ⁻ meq/L	Ca ⁺² meq/L	Mg ⁺² meq/L	Na ⁺ meq/L	K ⁺ meq/L	ΣAniones	ΣCationes	Error %
2/12/2017	aguas subterráneas	M-III	MDA1	8,3	22,4	824,0	543,8	0,0	6,4	1,9	0,2	0,0	4,5	2,8	1,8	0,5	8,5	9,7	7,1
			MDA2	8,0	22,6	453,0	299,0	0,6	3,6	0,5	0,1	0,0	2,8	1,6	0,9	0,4	4,9	5,7	7,8
			MDA3	8,0	22,4	436,0	287,8	0,0	4,8	1,0	0,1	0,0	3,7	1,3	1,4	0,2	5,9	6,6	5,6
		M-II	Pv1	8,3	21,8	1207,0	796,6	2,0	8,7	2,5	0,2	0,1	5,8	2,4	7,1	0,9	13,5	16,2	9,3
			Pv3	8,0	21,6	402,0	265,3	0,0	3,7	0,5	0,1	0,3	2,7	1,2	0,6	0,2	4,6	4,7	1,3
			Pv4	8,0	21,7	870,0	574,2	0,0	6,2	2,5	0,1	0,1	3,8	3,0	2,4	1,0	8,8	10,2	7,3
			Pv5	7,9	21,9	879,0	580,1	0,0	6,7	2,5	0,1	0,1	3,7	2,9	2,9	0,9	9,4	10,5	5,6
			Pv6	7,9	21,9	1477,0	974,8	0,0	9,0	6,1	0,4	0,5	6,5	4,6	7,6	0,6	15,9	19,4	10,0
			Pv7	8,2	21,8	532,0	351,1	0,0	5,5	1,4	0,1	0,0	3,3	1,8	1,9	0,4	7,0	7,4	2,6
			Pv9	8,0	21,2	940,0	620,4	0,0	7,4	2,6	0,1	0,1	5,1	3,3	3,5	0,3	10,2	12,2	8,8
Pv10	7,8	21,3	1088,0	718,1	0,0	6,8	3,9	0,1	0,1	5,5	2,0	4,7	0,7	10,9	12,8	8,3			
13/3/2018	aguas subterráneas	M-III	MDA1	7,6	22,8	868,0	572,9	0,0	7,6	2,0	0,2	0,0	6,1	0,7	2,2	0,5	9,8	9,5	-1,4
			MDA2	7,6	22,9	510,0	336,6	0,6	5,0	0,6	0,1	0,0	3,6	1,5	1,0	0,4	6,3	6,4	1,1
		M-II	Pv1	7,3	22,2	1166,0	769,6	0,0	10,8	2,3	0,3	0,2	5,6	2,3	6,2	0,7	13,6	14,8	4,3
			Pv4	7,3	22,3	1678,0	1107,5	0,0	8,1	4,5	0,3	0,7	7,9	3,1	6,2	1,5	13,6	18,6	15,6
			Pv5	7,4	22,3	884,0	583,4	1,9	6,1	1,9	0,2	0,2	5,0	3,3	2,7	0,8	10,1	11,7	7,3
			Pv6	7,4	22,1	1586,0	1046,8	0,0	11,6	5,6	0,4	0,7	8,0	3,7	8,9	0,6	18,2	21,2	7,6
			Pv7	7,7	22,6	592,0	390,7	0,0	5,7	1,3	0,1	0,0	3,1	1,7	2,1	0,4	7,2	7,3	0,6
			Pv9	8,2	22,3	953,0	629,0	0,0	8,8	2,0	0,1	0,1	6,5	2,2	3,7	0,4	11,0	12,7	7,2
Pv10	7,5	22,2	1218,0	803,9	0,0	12,4	3,9	0,2	0,1	8,8	1,8	5,7	0,6	16,6	16,9	0,8			
22/8/2018	aguas subterráneas	M-III	MDA1	7,3	19,4	967,0	638,2	0,0	6,6	2,7	0,3	0,0	4,4	2,7	3,5	0,3	9,7	10,9	6,0
			MDA2	7,5	19,4	429,0	283,1	0,0	5,1	0,6	0,0	0,0	4,0	1,5	0,8	0,1	5,8	6,4	4,9

"Procesos condicionantes de la calidad del agua subterránea en las zonas de borde continental del acuífero costero medanoso: aplicaciones al abastecimiento de agua en poblaciones rurales y al sustento de áreas naturales" M.J. Galliari

21/1/2019	M-II	MDA3	7,6	19,4	593,0	391,4	1,1	6,1	1,0	0,0	0,0	5,9	1,8	1,4	0,1	8,2	9,2	5,8	
		Pv1	7,2	19,5	1110,0	732,6	0,0	11,9	1,9	1,8	0,1	3,8	2,4	7,5	0,5	15,8	14,2	-5,2	
		Pv3	7,6	19,3	766,0	505,6	0,9	7,0	2,0	0,2	0,1	6,4	1,0	1,4	0,1	10,2	8,9	-7,0	
		Pv5	7,5	19,1	1016,0	670,6	1,0	8,1	3,8	0,1	0,1	6,2	0,6	3,3	0,4	13,1	10,5	-11,0	
		Pv6	7,6	19,3	941,0	621,1	0,8	6,1	3,0	1,3	0,4	5,8	1,1	4,1	0,1	11,5	11,1	-1,8	
		Pv7	7,9	19,1	605,0	399,3	0,0	5,8	1,3	0,7	0,0	4,6	0,8	1,7	0,1	7,8	7,3	-3,3	
		Pv10	7,3	19,0	1125,0	742,5	0,0	9,9	4,1	0,1	0,1	8,9	0,2	4,0	0,2	14,1	13,4	-2,7	
		Pv11	7,4	19,4	457,0	301,6	0,0	5,2	0,5	0,1	0,1	3,8	0,9	0,9	0,1	5,9	5,7	-1,2	
		Pv13	7,7	19,3	644,0	425,0	0,0	7,1	1,2	0,1	0,0	4,4	0,9	1,3	0,2	8,4	6,8	-10,6	
		Pv14	7,8	19,3	802,0	529,3	0,0	7,8	1,1	0,3	0,0	5,4	1,0	1,4	0,4	9,3	8,2	-6,1	
		M-I	MAPV	8,0	19,5	690,0	455,4	0,0	5,7	2,2	0,3	0,3	4,9	1,6	1,5	0,3	8,5	8,2	-1,3
		M-III	MDA1	7,6	21,4	826,0	545,2	0,0	6,1	1,8	0,2	0,0	2,3	1,8	2,7	0,1	8,1	6,9	-8,0
			MDA2	7,8	21,4	645,0	425,7	0,7	3,3	0,4	0,1	0,0	1,9	0,8	0,7	0,4	4,5	3,7	-10,2
			MDA3	8,0	21,4	605,0	399,3	0,4	3,2	1,0	0,1	0,0	3,3	0,5	1,6	0,3	4,8	5,7	8,4
	M-II	Pv1	7,9	21,0	1064,0	702,2	2,4	10,9	2,2	0,2	0,1	6,6	1,6	5,8	0,3	15,8	14,3	-5,1	
		Pv3	8,0	20,9	929,0	613,1	0,9	5,4	3,2	0,0	0,1	5,4	0,5	3,3	0,1	9,6	9,3	-1,4	
		Pv5	7,9	21,0	986,0	650,8	0,0	7,6	2,6	0,2	0,1	3,9	2,2	2,3	0,2	10,5	8,6	-9,9	
		Pv6	7,9	20,9	1621,0	1069,9	2,1	6,5	4,2	2,1	1,0	3,4	0,8	8,7	0,4	16,0	13,4	-8,9	
		Pv7	8,0	21,0	604,0	398,6	1,3	4,1	1,3	0,2	0,0	2,9	2,2	1,5	0,1	6,9	6,6	-2,0	
		Pv9	7,8	21,0	915,0	603,9	0,0	8,1	2,8	0,1	0,1	3,4	3,9	2,8	0,1	11,1	10,1	-4,5	
		Pv10	8,0	20,8	1078,0	711,5	0,0	7,5	3,5	0,1	0,1	2,7	2,7	3,9	0,2	11,2	9,4	-8,7	
M-I	Pv14	7,7	21,4	696,0	459,4	0,0	5,0	1,0	0,3	0,0	2,4	1,6	1,1	0,4	6,3	5,5	-6,1		
M-I	MAPV	8,2	20,9	683,0	450,8	1,7	3,3	2,7	0,2	0,2	3,9	3,4	1,2	0,2	8,1	8,7	3,6		

"Procesos condicionantes de la calidad del agua subterránea en las zonas de borde continental del acuífero costero medanoso: aplicaciones al abastecimiento de agua en poblaciones rurales y al sustento de áreas naturales" M.J. Gallari

TABLA III. QUIMICA DE MAYORITARIOS y MINORITARIOS. SECTOR CENTRAL. M-III: médanos sobreimpuestos al cordón actual; M-II médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales; Cpc: crestas de playa actualmente en zonas continentales; M-I mantos arenosos y C: aguas superficiales de cañadas en bajos intercretales. ND: no determinado.

fecha	Procedencia	Geoforma	Muestra	pH	T°C	CE μS/cm	STD mg/L	CO ₃ ⁻² mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	SO ₄ ⁻² mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	Ca ⁺² mg/L	Mg ⁺² mg/L	Na ⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	As mg/L	Fe mg/L	Mn mg/L	Sr mg/L	
2/12/2017	aguas subterráneas	M-III	MDT1	7,5	21,9	890	623,0	0,0	521,4	54,0	9,4	12,5	126,4	31,3	44	15	ND	ND	ND	ND	
			MDT2	7,7	22,0	346	242,2	0,0	189,8	49,9	8,1	11,2	48,5	12,8	14	12	ND	ND	ND	ND	
			MDT3	7,0	22,1	509	356,3	0,0	291,6	27,7	7,6	0,1	64,9	24,5	27	18	ND	ND	ND	ND	
		M-II	1	7,4	23,0	932	652,4	51,4	303,8	67,2	13,6	5,8	112,5	30,7	26	44	0,00	1,07	0,23	0,6824	
			2	7,4	22,6	951	665,7	72,8	261,2	54,2	13,2	13,5	96,0	37,9	51	21	0,01	1,17	0,23	0,6274	
			3	7,3	22,9	1098	768,6	68,5	345,6	71,2	417,0	4,3	100,3	21,1	170	15	0,00	1,08	0,34	0,6623	
			4	8,0	23,0	598	418,6	49,7	141,0	46,7	14,0	23,5	41,9	42,0	30	37	0,00	1,09	0,19	0,3686	
			7	7,3	23,2	1405	983,5	0,0	696,4	153,6	21,5	10,1	108,8	47,9	133	7	0,00	1,22	0,21	0,7814	
			8	7,6	22,8	827	578,9	0,0	480,5	53,8	16,5	4,1	82,7	31,3	44	8	0,01	1,20	0,11	0,6157	
			11	7,4	22,5	972	680,4	40,2	338,6	77,8	16,1	31,5	87,6	41,1	57	21	0,00	0,76	0,10	0,9296	
			12	7,4	22,3	1767	1236,9	49,7	298,6	356,7	20,8	16,0	64,3	91,4	174	30	0,00	0,67	0,12	0,5296	
			13	7,3	22,0	1291	903,7	51,4	427,4	127,3	17,3	21,9	60,0	45,0	50	61	0,01	1,16	0,29	2,4537	
			14	7,6	22,0	631	441,7	53,1	220,2	35,6	13,1	5,0	59,4	33,5	16	11	0,00	0,87	0,14	1,5336	
			Cpc	5	7,2	23,0	3510	2457,0	77,1	417,8	770,8	104,9	22,9	97,9	93,5	320	27	0,01	1,23	0,15	0,5663
		6		7,5	23,6	1488	1041,6	213,2	213,3	191,0	17,8	10,0	68,7	56,7	176	61	0,01	0,98	0,20	0,3471	
		9		7,4	22,7	3310	2317,0	0,0	1159,5	596,1	119,9	216,7	205,7	111,7	330	25	0,01	12,32	0,17	0,7674	
		10		7,3	22,4	5770	4039,0	0,0	1029,8	1524,1	114,5	37,4	186,4	106,8	970	50	0,01	2,03	0,21	0,2900	
		15		7,3	22,0	1698	1188,6	57,4	410,0	268,4	20,2	10,3	132,4	43,2	133	12	0,00	1,20	0,36	0,8805	
		16		7,1	22,8	4360	3052,0	82,2	990,6	875,2	114,5	28,2	99,7	75,6	550	60	0,01	3,62	0,93	1,6978	
		F1		7,2	23,2	1851	1295,7	65,9	403,9	1104,3	6,9	7,6	102,2	33,7	168	10	0,01	1,19	0,04	0,5696	
		F4		7,5	23,1	847	592,9	54,8	273,3	68,4	9,7	5,4	58,7	29,6	86	13	0,00	0,82	0,04	0,6274	
		F5	7,1	23,1	1307	914,9	59,9	230,7	168,8	9,5	4,4	184,3	28,1	46	3	0,01	1,68	3,70	0,8339		
		aguas superficiales	C	C1	6,9	22,3	1079	755,3	0,0	447,4	171,3	14,3	15,7	84,5	10,2	113	52	0,01	1,08	1,34	1,9175
				C2	7,6	22,0	1144	800,8	29,1	376,1	189,5	14,4	10,9	68,4	48,6	98	16	0,01	0,83	0,09	0,5277
		aguas subterráneas	M-I	MA1	7,6	22,2	1761	1162,3	37,7	620,7	271,4	38,2	11,7	114,7	59,5	201	13	0,01	0,87	0,86	0,4132
				MA2	7,5	22,3	3480	2296,8	57,4	299,5	904,6	297,0	24,7	278,1	85,4	370	26	0,01	1,90	0,08	0,3432

"Procesos condicionantes de la calidad del agua subterránea en las zonas de borde continental del acuífero costero medanoso: aplicaciones al abastecimiento de agua en poblaciones rurales y al sustento de áreas naturales" M.J. Galliari

14/3/2018	aguas subterráneas	M-III	MA3	7,7	22,0	2950	1947,0	89,0	230,7	711,8	227,6	8,9	83,9	79,3	375	36	0,01	0,89	0,47	0,4125	
			MA4	7,9	22,0	637	420,4	32,5	300,3	57,4	28,3	1,3	73,8	14,4	25	12	0,00	0,76	0,29	0,3103	
			MA5	7,9	21,7	565	372,9	29,1	306,4	20,6	12,4	0,8	84,2	20,0	13	9	0,01	0,70	0,22	1,1859	
			MA6	7,7	22,4	714	471,2	40,2	338,6	21,3	20,7	2,2	92,3	17,9	17	9	0,00	0,82	0,28	0,4494	
			MA7	8,1	22,1	504	332,6	37,7	227,2	25,6	15,9	4,0	32,0	32,8	37	8	0,00	0,54	0,02	1,0269	
	aguas subterráneas	M-III	MDT1	7,4	22,3	951	665,7	0,0	497,1	64,0	6,5	16,1	126,2	30,7	81	6	ND	ND	ND	ND	
			MDT2	7,6	22,6	267	186,9	0,0	170,6	9,1	3,5	6,5	42,6	8,7	10	2	ND	ND	ND	ND	
			MDT3	6,8	22,8	782	547,4	0,0	513,6	30,9	6,1	10,6	126,2	31,8	29	7	ND	ND	ND	ND	
		M-II	1	7,3	22,9	852	596,4	36,8	363,0	57,9	4,5	6,7	98,2	27,9	52	35	ND	ND	ND	ND	
			2	7,6	22,8	921	644,7	0,0	445,7	56,0	7,0	19,1	115,4	24,3	63	7	ND	ND	ND	ND	
			3	7,4	22,8	1104	772,8	0,0	573,7	76,7	9,1	6,1	128,3	40,3	97	13	ND	ND	ND	ND	
			4	8,2	23	578	404,6	0,0	246,4	67,4	4,4	20,4	14,6	33,7	66	47	ND	ND	ND	ND	
			7	7,2	22,7	1341	938,7	0,0	614,6	141,6	11,9	2,9	144,5	40,3	148	7	ND	ND	ND	ND	
			8	7,5	22,9	868	607,6	0,0	458,8	58,1	5,7	4,7	91,7	32,8	79	1	ND	ND	ND	ND	
			11	7,4	23	963	674,1	0,0	492,7	80,3	4,3	9,0	93,7	115,1	83	8	ND	ND	ND	ND	
			12	7,6	22,6	1557	1089,9	0,0	554,5	388,5	7,5	18,9	92,6	90,6	253	25	ND	ND	ND	ND	
			13	7,3	23,1	1212	848,4	0,0	547,5	100,5	8,5	20,3	155,4	50,5	42	40	ND	ND	ND	ND	
			14	7,8	23,4	717	501,9	0,0	391,7	45,2	6,2	6,8	70,5	45,2	51	7	ND	ND	ND	ND	
			Cpc	5	7,1	22,7	7040	4928	0,0	834,8	1832,7	25,9	35,5	187,1	191,5	1070	49	ND	ND	ND	ND
				6	7,3	22,6	1515	1060,5	0,0	605,0	195,4	6,4	14,0	88,9	56,3	188	46	ND	ND	ND	ND
				9	7,0	22,6	3240	2268	98,5	696,4	1090,7	31,3	28,2	138,3	99,7	910	37	ND	ND	ND	ND
				10	7,3	22,8	5550	3885	0,0	968,9	582,3	4,4	17,9	263,6	99,8	400	10	ND	ND	ND	ND
	16	7,3		22,8	4340	3038	0,0	1052,4	993,1	34,1	28,5	154,1	73,1	910	57	ND	ND	ND	ND		
	Aguas superficiales	C	C1	7,3	23,2	870	609	0,0	287,3	147,7	4,2	12,6	41,6	28,8	123	31	ND	ND	ND	ND	
	aguas subterráneas	M-I	MA1	7,4	23	2560	1689,6	0,0	537,1	472,0	68,1	39,4	189,5	32,9	370	9	ND	ND	ND	ND	
			MA2	7,3	22,8	5010	3306,6	0,0	443,1	1190,5	81,8	22,7	316,6	125,6	510	25	ND	ND	ND	ND	
			MA3	7,4	22,7	2670	1762,2	0,0	472,7	532,5	52,6	6,3	97,2	70,0	430	18	ND	ND	ND	ND	
			MA4	7,4	22,4	693	457,38	0,0	424,8	34,3	8,3	3,1	102,5	26,5	52	9,8	ND	ND	ND	ND	
MA5			7,7	22,6	529	349,14	0,0	350,8	19,7	4,4	33,7	85,1	16,0	29,2	7,1	ND	ND	ND	ND		
MA6			7,5	22,4	674	444,84	0,0	417,0	23,4	5,5	3,3	84,0	32,9	36	10	ND	ND	ND	ND		
MA7			7,5	22,4	731	482,46	0,0	482,3	28,4	5,7	6,6	105,7	37,1	36	4	ND	ND	ND	ND		
MA8			7,6	22,3	758	500,28	0,0	408,3	63,3	5,4	6,4	83,8	28,6	77	6	ND	ND	ND	ND		

"Procesos condicionantes de la calidad del agua subterránea en las zonas de borde continental del acuífero costero medanoso: aplicaciones al abastecimiento de agua en poblaciones rurales y al sustento de áreas naturales" M.J. Gallari

23/8/2018	aguas subterráneas	M-III	MDT1	7,7	19,5	294	205,8	0,0	297,6	0,7	8,5	2,4	52,3	16,8	15,5	4,0	0,00	0,02	0,00	0,2679
			MDT2	7,6	19,5	359	251,3	0,0	372,9	3,9	15,0	22,4	72,6	14,3	8,6	2,8	0,00	0,01	0,22	0,3650
			MDT3	7,3	19,6	478	334,6	0,0	485,7	8,1	4,2	6,4	84,3	13,4	14,1	16,0	0,00	0,02	0,04	0,3393
		M-II	1	7,7	21,9	814	569,8	0,0	631,8	62,7	9,0	13,3	107,0	30,5	38,2	35,0	0,00	0,02	0,00	0,6892
			2	7,7	21,7	920	644,0	0,0	760,1	65,6	7,9	22,5	113,1	28,5	84,0	15,0	0,00	0,01	0,00	0,7783
			3	7,8	21,7	882	617,4	0,0	778,9	56,7	11,2	4,8	97,6	29,9	101,0	6,0	0,00	0,01	0,00	0,6110
			4	7,5	21,8	425	297,5	0,0	330,8	26,3	9,5	12,6	31,4	23,5	27,2	19,0	0,00	0,02	0,00	0,2782
			8	7,8	21,5	1368	957,6	0,0	848,6	337,5	12,5	17,4	115,2	47,6	172,0	44,0	0,01	0,04	0,02	0,6615
			11	7,8	21,7	908	635,6	0,0	692,6	75,1	1,1	9,7	74,9	41,8	105,0	14,0	0,01	0,04	0,02	0,7689
			12	7,7	21,6	1789	1252,3	0,0	798,8	348,5	23,7	18,0	85,4	84,6	205,0	35,0	0,00	0,02	0,00	3,8521
			13	7,4	21,6	1014	709,8	34,3	511,2	94,7	1,3	14,2	131,1	31,5	35,4	63,0	0,00	0,02	0,00	1,7196
			14	7,9	21,5	593	415,1	32,6	288,8	18,2	100,9	6,2	65,2	25,6	30,8	17,0	0,01	0,02	0,00	0,5302
			18	7,7	21,8	1282	897,4	0,0	760,1	186,1	23,1	40,0	177,7	19,0	94,0	15,0	0,00	0,03	0,00	0,3881
		FC	7,7	21,8	1008	705,6	40,8	389,5	50,4	10,1	8,2	131,1	4,3	49,0	23,0	0,09	0,03	1,42	0,6978	
		Cpc	5	7,6	21,8	2071	1449,7	0,0	756,8	647,3	7,9	18,9	57,0	72,5	482	18,0	0,01	0,76	0,01	0,2829
			9	7,3	21,7	3046	2132,2	0,0	1462,7	716,4	12,1	23,0	271,8	111,4	304	16,0	0,02	4,52	0,12	1,1109
			10	7,6	21,7	5029	3520,3	0,0	1476,0	123,5	12,8	27,3	91,0	98,9	480	42,0	0,02	1,25	0,01	1,0842
			15	7,6	21,5	1767	1236,9	22,9	617,4	247,9	20,2	24,0	122,7	55,8	175	11,0	0,00	0,01	0,00	1,0451
			16	7,6	21,6	3094	2165,8	0,0	1554,5	778,6	5,3	24,2	135,4	66,1	597	59,0	0,01	0,76	0,01	0,8286
	F5		7,9	21,8	1681	1176,7	0,0	681,6	332,9	19,4	5,9	186,1	23,2	155	8,0	0,00	0,02	0,00	3,4246	
FL5B	7,1		22,4	1087	760,9	0,0	815,4	10,1	6,8	20,0	118,4	28,1	113	17,0	0,00	0,02	0,01	1,0347		
F1	7,4		21,7	1164	814,8	0,0	927,2	69,1	10,3	17,1	85,1	66,7	110	19,0	0,04	0,98	0,02	0,4055		
F4	7,8	22,2	850	595	0	493,5	123,7	4,4	6,5	17,9	17,8	128,0	10	0,00	0,02	0,00	0,5162			
aguas superficiales	C	C1	7,1	21,7	775	542,5	0,0	483,5	94,9	19,3	13,7	79,8	22,6	79,0	8,0	ND	ND	ND	ND	
aguas subterráneas	M-I	MA1	7,8	22,2	1800	1188,0	0,0	764,5	313,3	41,8	19,4	79,8	46,7	266	10,0	0,01	0,02	0,01	0,4862	
		MA2	7,6	22,1	3970	2620,2	0,0	515,6	1066,5	109,1	13,5	393,9	53,9	570,0	23,0	0,01	3,72	0,01	1,2158	
		MA3	7,7	22,1	2950	1947,0	0,0	668,3	723,3	45,7	14,6	134,5	70,7	401,0	36,0	0,02	1,87	0,01	0,8868	
		MA5	7,9	21,9	559	368,9	0,0	439,3	18,9	0,6	0,6	102,8	8,7	23,5	3,0	0,00	0,01	0,00	0,4692	
		MA7	7,4	21,9	733	483,8	0,0	562,1	28,8	7,9	11,6	112,5	28,1	31,2	10,0	0,01	0,01	0,01	0,1591	
23/1/2019	aguas subterráneas	M-III	MDT1	7,3	22,1	622	435,4	27,2	308,7	53,4	4,0	42,2	49,7	12,1	83,0	12,0	ND	ND	ND	ND
			MDT2	7,5	22,1	380	266,0	0,0	279,9	18,4	8,8	10,8	77,5	8,8	6,1	2,3	ND	ND	ND	ND
			MDT3	7,3	22,1	508	355,6	0,0	98,5	19,9	2,4	40,9	44,7	8,8	15,4	6,0	ND	ND	ND	ND
		M-II	1	8,0	22,8	831	581,7	23,9	372,9	63,6	10,8	3,0	83,5	9,6	32,0	10,9	ND	ND	ND	ND

"Procesos condicionantes de la calidad del agua subterránea en las zonas de borde continental del acuífero costero medanoso: aplicaciones al abastecimiento de agua en poblaciones rurales y al sustento de áreas naturales" M.J. Galliari

			2	7,9	21,9	893	625,1	59,8	524,5	54,6	3,0	26,4	121,7	34,7	62,0	12,0	ND	ND	ND	ND
			3	7,9	21,8	1164	814,8	41,4	679,4	58,1	16,0	6,9	111,0	31,3	107,0	10,0	ND	ND	ND	ND
			4	8,2	21,9	384	268,8	9,8	291,0	44,9	0,7	7,3	26,8	30,7	17,0	10,0	ND	ND	ND	ND
			7	7,7	21,9	1308	915,6	49,0	791,1	121,2	7,5	5,1	74,5	36,2	158,0	12,0	ND	ND	ND	ND
			8	7,5	21,9	1049	734,3	50,1	261,1	88,5	6,8	4,4	27,5	26,9	71,0	8,0	ND	ND	ND	ND
			11	7,9	21,8	515	360,5	81,6	166,0	48,9	0,4	4,8	31,1	26,7	38,0	11,0	ND	ND	ND	ND
			12	7,7	21,8	1888	1321,6	90,3	348,5	391,4	9,9	2,7	29,8	60,7	355,0	50,0	ND	ND	ND	ND
			13	7,5	21,8	914	639,8	31,6	406,1	148,0	7,0	19,2	78,5	36,8	26,0	61,0	ND	ND	ND	ND
			14	8,1	21,8	568	397,6	27,2	242,3	29,1	2,8	6,6	18,2	24,7	37,8	17,0	ND	ND	ND	ND
			18	7,7	21,9	1512	1058,4	74,0	454,7	222,6	16,7	4,5	54,7	40,8	150,0	37,0	ND	ND	ND	ND
			FC	7,8	22,1	838	586,6	42,4	414,9	30,9	3,5	8,0	79,2	18,7	61,0	17,0	ND	ND	ND	ND
			Fcol	7,6	22,1	243	170,1	59,8	135,0	2,2	5,7	10,3	27,2	9,6	12,0	54,0	ND	ND	ND	ND
		Cpc	5	7,7	22,0	1888	1321,6	63,1	642,8	333,3	26,6	14,3	90,1	58,5	305	21	ND	ND	ND	ND
			6	7,8	22,0	1411	987,7	63,1	510,1	194,4	8,1	9,7	34,1	42,2	167	55	ND	ND	ND	ND
			9	7,5	21,9	3390	2373,0	69,6	437,0	770,5	66,0	17,3	208,0	84,8	280	19	ND	ND	ND	ND
			10	7,6	21,8	5100	3570,0	130,6	688,2	1260,0	3,7	27,3	63,3	18,7	920	43	ND	ND	ND	ND
			15	7,7	21,8	1037	725,9	39,2	348,5	191,7	4,4	14,7	33,5	38,4	137	12	ND	ND	ND	ND
			16	7,3	21,8	5160	3612,0	84,9	1054,4	1236,1	2,2	26,9	83,8	90,4	850	54	ND	ND	ND	ND
			17	7,2	21,9	5550	3885,0	72,9	725,8	1140,2	7,7	28,9	77,2	174,2	450	94	ND	ND	ND	ND
			FL5B	7,5	22,1	418	292,6	0,0	273,3	48,1	2,9	6,0	38,4	12,7	52	4	ND	ND	ND	ND
			F1	7,7	22,0	997	697,9	52,2	504,5	775,9	113,1	7,7	20,5	49,8	610	12	ND	ND	ND	ND
			F4	7,7	21,9	993	695,1	0,0	457,0	178,2	1,5	8,4	58,0	39,0	126	5	ND	ND	ND	ND
		M-I	MA1	7,7	22,3	1807	1192,6	50,1	503,4	269,8	42,2	23,8	28,8	46,8	223	19	ND	ND	ND	ND
			MA2	7,8	22,1	3140	2072,4	82,7	380,6	760,9	60,5	13,0	270,3	90,2	130	28	ND	ND	ND	ND
			MA3	7,8	22	2470	1630,2	43,5	594,2	577,9	366,8	21,0	110,0	70,9	349	34	ND	ND	ND	ND
			MA4	7,8	22	530	349,8	26,1	418,2	15,2	3,1	1,9	66,2	20,7	31,2	8	ND	ND	ND	ND
			MA5	7,9	22,1	514	339,2	39,2	185,9	17,7	1,4	2,0	65,9	20,5	23,1	4	ND	ND	ND	ND
			MA6	7,9	22,1	642	423,7	25,0	256,1	20,7	43,1	1,4	25,2	27,3	30,1	13	ND	ND	ND	ND
			MA7	7,8	22,1	584	385,4	26,1	260,0	26,1	5,3	11,8	10,9	32,1	29,1	10	ND	ND	ND	ND
			MA8	7,9	22,1	663	437,6	0,0	248,9	17,7	2,9	7,8	9,9	15,1	41	12	ND	ND	ND	ND

TABLA IV. BALANCE DE CARGAS Y CALCULO DE ERROR (%) EN LAS MUESTRAS DEL SECTOR CENTRAL. M-III: médanos sobreimpuestos al cordón actual; M-II médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales; Cpc: crestas de playa actualmente en zonas continentales; M-I mantos arenosos y C: aguas superficiales de cañadas en bajos intercretales.

fecha	Procedencia	Geoforma	Muestra	pH	T°C	CE μS/cm	STD mg/L	CO ₃ ⁻² meq/L	HCO ₃ ⁻ meq/L	Cl ⁻ meq/L	SO ₄ ⁻² meq/L	NO ₃ ⁻ meq/L	Ca ⁺² meq/L	Mg ⁺² meq/L	Na ⁺ meq/L	K ⁺ meq/L	Aniones	Cationes	Error %
2/12/2017	aguas subterráneas	M-III	MDT1	7,5	21,9	890	623,0	0,0	8,5	1,5	0,2	0,2	6,3	2,6	1,9	0,4	10,5	11,2	3,3
			MDT2	7,7	22,0	346	242,2	0,0	3,1	1,4	0,2	0,2	2,4	1,1	0,6	0,3	4,9	4,4	-5,0
			MDT3	7,0	22,1	509	356,3	0,0	4,8	0,8	0,2	0,0	3,2	2,0	1,2	0,5	5,7	6,9	9,4
		M-II	1	7,4	23,0	932	652,4	1,7	5,0	1,9	0,3	0,1	5,6	2,5	1,1	1,1	9,0	10,4	7,4
			2	7,4	22,6	951	665,7	2,4	4,3	1,5	0,3	0,2	4,8	3,1	2,2	0,5	8,7	10,7	10,0
			3	7,3	22,9	1098	768,6	2,3	5,7	2,0	8,7	0,1	5,0	1,7	7,4	0,4	18,7	14,5	-12,6
			4	8,0	23,0	598	418,6	1,7	2,3	1,3	0,3	0,4	2,1	3,5	1,3	0,2	6,0	7,1	8,4
			7	7,3	23,2	1405	983,5	0,0	11,4	4,3	0,4	0,2	5,4	3,9	5,8	0,2	16,4	15,3	-3,2
			8	7,6	22,8	827	578,9	0,0	7,9	1,5	0,3	0,1	4,1	2,6	1,9	0,2	9,8	8,8	-5,3
			11	7,4	22,5	972	680,4	1,3	5,5	2,2	0,3	0,5	4,4	3,4	2,5	0,5	9,9	10,8	4,1
			12	7,4	22,3	1767	1236,9	1,7	4,9	10,1	0,4	0,3	3,2	7,5	7,6	0,8	17,3	19,1	4,9
			13	7,3	22,0	1291	903,7	1,7	7,0	3,6	0,4	0,4	3,0	3,7	2,2	1,6	13,0	10,4	-11,0
			14	7,6	22,0	631	441,7	1,8	3,6	1,0	0,3	0,1	3,0	2,8	0,7	0,3	6,7	6,7	-0,1
		Cpc	5	7,2	23,0	3510	2457,0	2,6	6,8	21,7	2,2	0,4	4,9	7,7	13,9	0,7	33,7	27,2	-10,7
			6	7,5	23,6	1488	1041,6	7,1	3,5	5,4	0,4	0,2	3,4	4,7	7,7	1,6	16,5	17,3	2,3
			9	7,4	22,7	3310	2317,0	0,0	19,0	16,8	2,5	3,5	10,3	9,2	14,4	0,6	41,8	34,5	-9,6
			10	7,3	22,4	5770	4039,0	0,0	16,9	43,0	2,4	0,6	9,3	8,8	42,2	1,3	62,9	61,6	-1,0
			15	7,3	22,0	1698	1188,6	1,9	6,7	7,6	0,4	0,2	6,6	3,6	5,8	0,3	16,8	16,2	-1,6
			16	7,1	22,8	4360	3052,0	2,7	16,2	24,7	2,4	0,5	5,0	6,2	23,9	1,5	46,5	36,7	-11,8
			F1	7,2	23,2	1851	1295,7	1,1	7,7	9,8	0,1	0,1	5,1	2,8	7,3	0,3	18,8	15,4	-9,9
			F4	7,5	23,1	847	592,9	1,8	4,5	1,9	0,2	0,1	2,9	2,4	3,7	0,3	8,5	9,4	5,1

"Procesos condicionantes de la calidad del agua subterránea en las zonas de borde continental del acuífero costero medanoso: aplicaciones al abastecimiento de agua en poblaciones rurales y al sustento de áreas naturales" M.J. Gallari

	aguas superficiales	C	F5	7,1	23,1	1307	914,9	2,0	3,8	4,8	0,2	0,1	9,2	2,3	2,0	0,1	10,8	13,6	11,4
			C1	6,9	22,3	1079	755,3	0,0	7,3	4,8	0,3	0,3	4,2	0,8	4,9	1,3	12,7	11,3	-5,9
			C2	7,6	22,0	1144	800,8	1,0	6,2	5,3	0,3	0,2	3,4	4,0	4,3	0,4	13,0	12,1	-3,5
	aguas subterráneas	M-I	MA1	7,6	22,2	1761	1162,3	1,3	10,2	7,7	0,8	0,2	5,7	4,9	8,7	0,3	20,1	19,7	-0,9
			MA2	7,5	22,3	3480	2296,8	1,9	4,9	25,5	6,2	0,4	13,9	7,0	16,1	0,7	38,9	37,7	-1,6
			MA3	7,7	22,0	2950	1947,0	3,0	3,8	20,1	4,7	0,1	4,2	6,5	16,3	0,9	31,7	27,9	-6,3
			MA4	7,9	22,0	637	420,4	1,1	4,9	1,6	0,6	0,0	3,7	1,2	1,1	0,3	8,2	6,3	-13,6
			MA5	7,9	21,7	565	372,9	1,0	5,0	0,6	0,3	0,0	4,2	1,6	0,6	0,3	6,8	6,7	-0,8
			MA6	7,7	22,4	714	471,2	1,3	5,5	0,6	0,4	0,0	4,6	1,5	0,8	0,2	8,0	7,1	-6,0
			MA7	8,1	22,1	504	332,6	1,3	3,7	0,7	0,3	0,1	1,6	2,7	1,6	0,2	6,1	6,1	0,1
14/3/2018	aguas subterráneas	M-III	MDT1	7,4	22,3	951	665,7	0,0	8,1	1,8	0,1	0,3	6,3	2,5	3,5	0,2	10,3	12,5	9,4
			MDT2	7,6	22,6	267	186,9	0,0	2,8	0,3	0,1	0,1	2,1	0,7	0,4	0,1	3,2	3,3	1,6
			MDT3	6,8	22,8	782	547,4	0,0	8,4	0,9	0,1	0,2	6,3	2,6	1,3	0,2	9,6	10,4	3,9
		M-II	1	7,3	22,9	852	596,4	1,2	5,9	1,6	0,1	0,1	4,9	2,3	2,3	0,9	9,0	10,4	6,9
			2	7,6	22,8	921	644,7	0,0	7,3	1,6	0,1	0,3	5,8	2,0	2,7	0,2	9,3	10,7	6,7
			3	7,4	22,8	1104	772,8	0,0	9,4	2,2	0,2	0,1	6,4	3,3	4,2	0,3	11,9	14,3	9,3
			4	8,2	23	578	404,6	0,0	4,0	1,9	0,1	0,3	0,7	2,8	2,9	1,2	6,4	7,6	8,7
			7	7,2	22,7	1341	938,7	0,0	10,1	4,0	0,2	0,0	7,2	3,3	6,4	0,2	14,4	17,1	8,8
			8	7,5	22,9	868	607,6	0,0	7,5	1,6	0,1	0,1	4,6	2,7	3,4	0,0	9,4	10,7	6,9
			11	7,4	23	963	674,1	0,0	8,1	2,3	0,1	0,1	4,7	9,5	3,6	0,2	10,6	18,0	25,9
			12	7,6	22,6	1557	1089,9	0,0	9,1	11,0	0,2	0,3	4,6	7,5	11,0	0,6	20,5	23,7	7,3
			13	7,3	23,1	1212	848,4	0,0	9,0	2,8	0,2	0,3	7,8	4,2	1,8	1,0	12,3	14,8	9,0
			14	7,8	23,4	717	501,9	0,0	6,4	1,3	0,1	0,1	3,5	3,7	2,2	0,2	7,9	9,6	9,7
		Cpc	5	7,1	22,7	7040	4928	0,0	13,7	51,7	0,5	0,6	9,3	15,8	46,5	1,3	66,5	72,9	4,6
			6	7,3	22,6	1515	1060,5	0,0	9,9	5,5	0,1	0,2	4,4	4,6	8,2	1,2	15,8	18,4	7,7
			9	7,0	22,6	3240	2268	3,3	11,4	30,8	0,7	0,5	6,9	8,2	39,6	0,9	46,6	55,6	8,9
			10	7,3	22,8	5550	3885	0,0	15,9	16,4	0,1	0,3	13,2	8,2	17,4	0,3	32,7	39,0	8,8

"Procesos condicionantes de la calidad del agua subterránea en las zonas de borde continental del acuífero costero medanoso: aplicaciones al abastecimiento de agua en poblaciones rurales y al sustento de áreas naturales" M.J. Gallari

			16	7,3	22,8	4340	3038	0,0	17,2	28,0	0,7	0,5	7,7	6,0	39,6	1,5	46,4	54,7	8,2	
			17	7,4	22,8	6030	4221	0,0	13,1	41,9	0,8	0,4	7,9	13,3	49,2	2,3	56,2	72,5	12,7	
		aguas superficiales	C	C1	7,3	23,2	870	609	0,0	4,7	4,2	0,1	0,2	2,1	2,4	5,4	0,8	9,2	10,6	7,2
		aguas subterráneas	M-I	MA1	7,4	23	2560	1689,6	0,0	8,8	13,3	1,4	0,6	9,5	2,7	16,1	0,2	24,2	28,5	8,2
	MA2			7,3	22,8	5010	3306,6	0,0	7,3	33,6	1,7	0,4	15,8	10,3	22,2	0,6	42,9	49,0	6,6	
	MA3			7,4	22,7	2670	1762,2	0,0	7,7	15,0	1,1	0,1	4,9	5,8	18,7	0,5	24,0	29,8	10,8	
	MA4			7,4	22,4	693	457,38	0,0	7,0	1,0	0,2	0,0	5,1	2,2	2,3	0,3	8,2	9,8	9,2	
	MA5			7,7	22,6	529	349,14	0,0	5,7	0,6	0,1	0,5	4,2	1,3	1,3	0,2	6,9	7,0	0,6	
	MA6			7,5	22,4	674	444,84	0,0	6,8	0,7	0,1	0,1	4,2	2,7	1,6	0,3	7,7	8,7	6,5	
	MA7			7,5	22,4	731	482,46	0,0	7,9	0,8	0,1	0,1	5,3	3,1	1,6	0,1	8,9	10,0	5,6	
MA8	7,6			22,3	758	500,28	0,0	6,7	1,8	0,1	0,1	4,2	2,4	3,3	0,2	8,7	10,0	7,2		
23/8/2018	aguas subterráneas	M-III	MDT1	7,7	19,5	294	205,8	0,0	4,9	0,0	0,2	0,0	2,6	1,4	0,7	0,1	5,1	4,8	-3,5	
			MDT2	7,6	19,5	359	251,3	0,0	6,1	0,1	0,3	0,4	3,6	1,2	0,4	0,1	6,9	5,2	-13,6	
			MDT3	7,3	19,6	478	334,6	0,0	8,0	0,2	0,1	0,1	4,2	1,1	0,6	0,4	8,4	6,3	-13,9	
		M-II	1	7,7	21,9	814	569,8	0,0	10,4	1,8	0,2	0,2	5,3	2,5	1,7	0,9	12,5	10,4	-9,2	
			2	7,7	21,7	920	644,0	0,0	12,5	1,9	0,2	0,4	5,6	2,3	3,7	0,4	14,8	12,0	-10,4	
			3	7,8	21,7	882	617,4	0,0	12,8	1,6	0,2	0,1	4,9	2,5	4,4	0,2	14,7	11,9	-10,5	
			4	7,5	21,8	425	297,5	0,0	5,4	0,7	0,2	0,2	1,6	1,9	1,2	0,5	6,6	5,2	-11,8	
			8	7,8	21,5	1368	957,6	0,0	13,9	9,5	0,3	0,3	5,7	3,9	7,5	1,1	24,0	18,3	-13,5	
			11	7,8	21,7	908	635,6	0,0	11,4	2,1	0,0	0,2	3,7	3,4	4,6	0,4	13,6	12,1	-6,0	
			12	7,7	21,6	1789	1252,3	0,0	13,1	9,8	0,5	0,3	4,3	7,0	8,9	0,9	23,7	21,0	-6,0	
			13	7,4	21,6	1014	709,8	1,1	8,4	2,7	0,0	0,2	6,5	2,6	1,5	1,6	12,4	12,3	-0,7	
			14	7,9	21,5	593	415,1	1,1	4,7	0,5	2,1	0,1	3,3	2,1	1,3	0,4	8,5	7,1	-8,9	
			18	7,7	21,8	1282	897,4	0,0	12,5	5,2	0,5	0,6	8,9	1,6	4,1	0,4	18,8	14,9	-11,6	
		FC	7,7	21,8	1008	705,6	1,4	6,4	1,4	0,2	0,1	6,5	0,4	2,1	0,6	9,5	9,6	0,6		
Cpc	5	7,6	21,8	2071	1449,7	0,0	12,4	18,3	0,2	0,3	2,8	6,0	21,0	0,5	31,1	30,2	-1,4			

"Procesos condicionantes de la calidad del agua subterránea en las zonas de borde continental del acuífero costero medanoso: aplicaciones al abastecimiento de agua en poblaciones rurales y al sustento de áreas naturales" M.J. Galliari

			9	7,3	21,7	3046	2132,2	0,0	24,0	20,2	0,3	0,4	13,6	9,2	13,2	0,4	44,8	36,4	-10,4
			10	7,6	21,7	5029	3520,3	0,0	24,2	3,5	0,3	0,4	4,5	8,1	20,9	1,1	28,4	34,6	9,9
			15	7,6	21,5	1767	1236,9	0,8	10,1	7,0	0,4	0,4	6,1	4,6	7,6	0,3	18,7	18,6	-0,2
			16	7,6	21,6	3094	2165,8	0,0	25,5	22,0	0,1	0,4	6,8	5,4	26,0	1,5	47,9	39,7	-9,4
			F5	7,9	21,8	1681	1176,7	0,0	11,2	9,4	0,4	0,1	9,3	1,9	6,7	0,2	21,1	18,1	-7,4
			FL5B	7,1	22,4	1087	760,9	0,0	13,4	0,3	0,1	0,3	5,9	2,3	4,9	0,4	14,1	13,6	-2,0
			F1	7,4	21,7	1164	814,8	0,0	15,2	1,9	0,2	0,3	4,2	5,5	4,8	0,5	17,6	15,0	-8,0
			F4	7,82	22,2	850	595	0,0	8,1	3,5	0,1	0,1	0,9	1,5	5,6	0,3	11,8	8,2	-18,0
	aguas superficiales	C	C1	7,1	21,7	775	542,5	0,0	7,9	2,7	0,4	0,2	4,0	1,9	3,4	0,2	11,2	9,5	-8,4
	aguas subterráneas	M-I	MA1	7,8	22,2	1800	1188,0	0,0	12,5	8,8	0,9	0,3	4,0	3,8	11,6	0,3	22,6	19,7	-6,9
			MA2	7,6	22,1	3970	2620,2	0,0	8,5	30,1	2,3	0,2	19,7	4,4	24,8	0,6	41,0	49,5	9,3
			MA3	7,7	22,1	2950	1947,0	0,0	11,0	20,4	1,0	0,2	6,7	5,8	17,4	0,9	32,5	30,9	-2,6
			MA5	7,9	21,9	559	368,9	0,0	7,2	0,5	0,0	0,0	5,1	0,7	1,0	0,1	7,8	6,9	-5,5
			MA7	7,4	21,9	733	483,8	0,0	9,2	0,8	0,2	0,2	5,6	2,3	1,4	0,3	10,4	9,5	-4,2
23/1/2019	aguas subterráneas	M-III	MDT1	7,3	22,1	622	435,4	0,9	5,1	1,5	0,1	0,7	2,5	1,0	3,6	0,3	8,2	7,4	-5,4
			MDT2	7,5	22,1	380	266,0	0,0	4,6	0,5	0,2	0,2	3,9	0,7	0,3	0,1	5,5	4,9	-5,3
			MDT3	7,3	22,1	508	355,6	0,0	1,6	0,6	0,0	0,7	2,2	0,7	0,7	0,2	2,9	3,8	13,5
		M-II	1	8,0	22,8	831	581,7	0,8	6,1	1,8	0,2	0,0	4,2	0,8	1,4	0,3	9,0	6,6	-15,0
			2	7,9	21,9	893	625,1	2,0	8,6	1,5	0,1	0,4	6,1	2,9	2,7	0,3	12,6	11,9	-2,8
			3	7,9	21,8	1164	814,8	1,4	11,1	1,6	0,3	0,1	5,5	2,6	4,7	0,3	14,6	13,0	-5,7
			4	8,2	21,9	384	268,8	0,3	4,8	1,3	0,0	0,1	1,3	2,5	0,7	0,3	6,5	4,9	-14,4
			7	7,7	21,9	1308	915,6	1,6	13,0	3,4	0,2	0,1	3,7	3,0	6,9	0,3	18,3	13,9	-13,6
			8	7,5	21,9	1049	734,3	1,7	4,3	2,5	0,1	0,1	1,4	2,2	3,1	0,2	8,7	6,9	-11,4
			11	7,9	21,8	515	360,5	2,7	2,7	1,4	0,0	0,1	1,6	2,2	1,7	0,3	6,9	5,7	-9,7
			12	7,7	21,8	1888	1321,6	3,0	5,7	11,0	0,2	0,0	1,5	5,0	15,4	1,3	20,0	23,2	7,4
			13	7,5	21,8	914	639,8	1,1	6,7	4,2	0,1	0,3	3,9	3,0	1,1	1,6	12,3	9,6	-12,3
			14	8,1	21,8	568	397,6	0,9	4,0	0,8	0,1	0,1	0,9	2,0	1,6	0,4	5,9	5,0	-7,7

"Procesos condicionantes de la calidad del agua subterránea en las zonas de borde continental del acuífero costero medanoso: aplicaciones al abastecimiento de agua en poblaciones rurales y al sustento de áreas naturales" M.J. Galliari

			18	7,7	21,9	1512	1058,4	2,5	7,5	6,3	0,3	0,1	2,7	3,4	6,5	0,9	16,6	13,6	-10,2
			FC	7,8	22,1	838	586,6	1,4	6,8	0,9	0,1	0,1	4,0	1,5	2,7	0,4	9,3	8,6	-4,0
			Fcol	7,6	22,1	243	170,1	2,0	2,2	0,1	0,1	0,2	1,4	0,8	0,5	1,4	4,6	4,1	-5,8
		Cpc	5	7,7	22,0	1888	1321,6	2,1	10,5	9,4	0,6	0,2	4,5	4,8	13,3	0,5	22,8	23,1	0,6
			6	7,8	22,0	1411	987,7	2,1	8,4	5,5	0,2	0,2	1,7	3,5	7,3	1,4	16,3	13,8	-8,1
			9	7,5	21,9	3390	2373,0	2,3	7,2	21,7	1,4	0,3	10,4	7,0	12,2	0,5	32,9	30,0	-4,5
			10	7,6	21,8	5100	3570,0	4,4	11,3	35,5	0,1	0,4	3,2	1,5	40,0	1,1	51,7	45,8	-6,0
			15	7,7	21,8	1037	725,9	1,3	5,7	5,4	0,1	0,2	1,7	3,2	6,0	0,3	12,8	11,1	-7,0
			16	7,3	21,8	5160	3612,0	2,8	17,3	34,9	0,0	0,4	4,2	7,4	37,0	1,4	55,5	50,0	-5,2
			17	7,2	21,9	5550	3885,0	2,4	11,9	32,2	0,2	0,5	3,9	14,3	19,6	2,4	47,1	40,2	-8,0
			FL5B	7,5	22,1	418	292,6	0,0	4,5	1,4	0,1	0,1	1,9	1,0	2,3	0,1	6,0	5,3	-5,9
			F1	7,7	22,0	997	697,9	1,7	8,3	21,9	2,4	0,1	1,0	4,1	26,5	0,3	34,4	32,0	-3,6
			F4	7,7	21,9	993	695,1	0,0	7,5	5,0	0,0	0,1	2,9	3,2	5,5	0,1	12,7	11,7	-4,0
		M-I	MA1	7,73	22,3	1807	1192,6	1,7	8,3	7,6	0,9	0,4	1,4	3,9	9,7	0,5	18,8	15,5	-9,7
			MA2	7,85	22,1	3140	2072,4	2,8	6,2	21,5	1,3	0,2	13,5	7,4	5,7	0,7	31,9	27,3	-7,8
			MA3	7,88	22	2470	1630,2	1,5	9,7	16,3	7,6	0,3	5,5	5,8	15,2	0,9	35,5	27,4	-12,9
			MA4	7,85	22	530	349,8	0,9	6,9	0,4	0,1	0,0	3,3	1,7	1,4	0,2	8,2	6,6	-11,3
			MA5	7,95	22,1	514	339,2	1,3	3,0	0,5	0,0	0,0	3,3	1,7	1,0	0,1	4,9	6,1	10,7
			MA6	7,91	22,1	642	423,7	0,8	4,2	0,6	0,9	0,0	1,3	2,2	1,3	0,3	6,5	5,1	-11,9
			MA7	7,88	22,1	584	385,4	0,9	4,3	0,7	0,1	0,2	0,5	2,6	1,3	0,3	6,2	4,7	-13,4
			MA8	7,97	22,1	663	437,6	0,0	4,1	0,5	0,1	0,1	0,5	1,2	1,8	0,3	4,8	3,8	-10,9

"Procesos condicionantes de la calidad del agua subterránea en las zonas de borde continental del acuífero costero medanos: aplicaciones al abastecimiento de agua en poblaciones rurales y al sustento de áreas naturales" M.J. Galliari

TABLA V. QUIMICA DE MAYORITARIOS y MINORITARIOS. SECTOR NORTE. M: mar, Cm: canal de marea; LS: laguna secundaria, LP: laguna principal; agua subterránea: Bi: bajos intermareales y Cpi: crestas de playa en zonas intermareales. ND: no determinado.

fecha	Procedencia	Muestra	pH	T°C	CE μS/cm	STD mg/L	CO ₃ ²⁻ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	Ca ⁺² mg/L	Mg ⁺² mg/L	Na ⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	As mg/L	Fe mg/L	Mn mg/L	Sr mg/L	
30/11/2017	aguas superficiales	M	M	8,3	19	19650	12969	22	108	7204	395	4	270	595	4400	140	0,08	1,15	0,08	2,36
		Cm	C1	8,4	19,2	41100	27126	55	96	15197	954	4	640	962	8500	370	0,28	7,21	0,00	15,45
			C2	8,4	19,4	42000	27720	52	127	15468	1145	8	730	934	9600	380	0,27	6,99	0,00	16,02
			C3	8,4	19,6	42600	28116	55	128	17091	722	7	740	946	8500	420	0,28	7,20	0,00	16,68
		LS	C3L	8,6	19,8	53700	35442	62	198	20541	1499	11	1030	1300	12500	540	0,39	9,09	0,00	22,93
		LP	C4	8,6	19,7	43600	28776	53	141	15626	2780	9	350	1589	11000	420	0,30	7,14	0,00	17,05
	C5		8,5	20,3	43800	28908	52	114	17385	1581	8	780	992	11800	360	0,31	7,10	0,00	17,65	
	C6		8,5	19,7	43300	28578	34	216	15152	2139	8	560	1073	9600	320	0,30	7,02	0,00	16,99	
	aguas subterráneas	Bi	F2	7,7	19,0	9820	6481	83	793	3044	600	7	200	144	1530	70	0,02	0,49	0,00	1,02
			F4	7,5	22,1	33700	22242	65	406	12447	872	6	580	1043	6800	250	0,23	5,92	0,58	11,47
			F5	7,9	19,5	12340	8144	127	959	3630	3502	16	1010	234	2040	150	0,03	0,87	0,04	1,33
			F6	7,8	19,5	22600	14916	160	835	3811	4251	27	1250	830	1820	60	0,06	1,03	0,00	2,32
		F8	7,8	19,4	34900	23034	99	548	11432	818	10	680	2236	3200	230	0,00	0,06	0,01	0,11	
Cp	F7	8,4	22,5	2500	1650	102	654	3	491	9	15	20	430	22	0,01	0,14	0,05	0,13		
13/3/2018	aguas superficiales	M	M	8,0	20,0	31400	20724	0	209	13218	1921	12	16	100	11500	610	ND	ND	ND	ND
		Cm	C1	9,0	20,7	38200	25212	0	210	16630	954	5	19	204	15000	800	ND	ND	ND	ND
			C2	8,9	21,3	40800	26928	12	198	16992	913	7	22	161	14200	800	ND	ND	ND	ND
			C3	8,9	20,1	40600	26796	0	223	16291	1083	5	17	117	13600	790	ND	ND	ND	ND
		LS	C3L	SECO													ND	ND	ND	ND
		LP	C4	8,6	21,3	49900,0	32934,0	0,0	391,7	22369,4	1253,6	25,3	31,7	169,8	16800	1050	ND	ND	ND	ND
	C5		9,1	20,9	49600,0	32736,0	0,0	276,0	16381,6	1158,2	25,0	34,8	171,9	15100	970	ND	ND	ND	ND	
	C6		9,0	21,3	49200,0	32472,0	0,0	273,3	20155,1	1062,8	13,5	28,6	169,6	14700	930	ND	ND	ND	ND	
	F2		7,1	12,9	20700,0	13662,0	0,0	694,7	8021,4	504,2	16,8	35,1	63,3	5300	320	ND	ND	ND	ND	
	aguas subterráneas	Bi	F5	7,4	13,4	24000,0	15840,0	0,0	747,8	9038,2	585,9	20,6	32,0	65,0	6500	400	ND	ND	ND	ND
F6			7,3	14,9	30900,0	20394,0	0,0	741,7	11749,6	688,1	18,9	32,0	82,5	7600	590	ND	ND	ND	ND	
F8			7,5	15,7	35100,0	23166,0	0,0	837,4	13670,2	712,6	4,4	29,8	80,1	8700	620	ND	ND	ND	ND	

"Procesos condicionantes de la calidad del agua subterránea en las zonas de borde continental del acuífero costero medanoso: aplicaciones al abastecimiento de agua en poblaciones rurales y al sustento de áreas naturales" M.J. Gallari

22/8/2018	aguas superficiales	Cp	F7	7,8	14,7	11100,0	7326,0	60,8	502,3	3050,4	286,1	20,7	19,0	45,4	1130	173	ND	ND	ND	ND	
		Cm	M	8,0	20,1	21100,0	13926,0	0,0	181,9	7163,9	885,8	7,1	207,5	553,4	4500	730	0,06	4,79	0,05	3,40	
			C1	8,5	20,4	19220,0	12685,2	57,4	228,9	6910,5	781,3	3,3	122,2	496,5	3500	560	0,04	1,70	0,01	2,66	
			C2	8,6	20,4	19880,0	13120,8	34,2	282,0	7094,8	788,6	3,5	142,1	475,8	3400	580	0,05	4,24	0,11	2,86	
		LP	C3	8,6	20,5	19000,0	12540,0	42,8	228,9	6818,4	917,0	3,0	150,6	455,1	3000	540	0,04	1,87	0,02	2,86	
			C3L	9,1	20,6	15820,0	10441,2	27,4	228,1	9536,5	962,8	4,2	312,7	243,1	4300	460	0,04	1,87	0,02	2,72	
			C4	8,9	20,6	19900,0	13134,0	37,7	262,0	7785,8	1348,0	4,0	62,5	605,1	4000	670	0,05	2,26	0,01	3,38	
		Bi	C5	8,6	20,6	20300,0	13398,0	0,0	316,9	8499,9	1403,0	9,8	65,4	581,0	3800	700	0,09	9,03	0,09	3,71	
			C6	8,7	20,7	20200,0	13332,0	0,0	328,2	8177,4	1375,5	5,6	54,0	579,3	3700	670	0,07	7,93	0,04	3,40	
	F1		7,6	20,0	6700,0	4422,0	0,0	925,3	1474,2	1008,7	6,3	27,0	99,1	1440	180	0,03	4,00	0,19	0,51		
	aguas subterráneas	Cp	F2	8,0	20,6	3050,0	2013,0	40,2	701,6	230,3	696,9	16,5	3,7	31,7	640	100	0,03	2,88	0,10	0,21	
			F4	7,3	19,5	17290,0	11411,4	43,7	484,0	5936,1	205,4	4,9	145,0	413,8	3480	410	0,04	1,90	0,01	8,01	
			F5	8,1	19,9	4460,0	2943,6	38,5	821,3	856,9	660,2	38,1	46,9	45,7	970	110	0,03	2,78	0,11	2,46	
F6			7,6	19,9	9110,0	6012,6	0,0	1042,0	2494,7	678,6	26,7	85,3	153,4	1600	230	0,02	1,88	0,08	0,42		
F8			8,1	19,8	10530,0	6949,8	0,0	521,4	3063,7	990,3	3,7	85,0	250,2	2010	260	0,03	1,54	0,02	0,09		
F3			7,2	20,6	35600,0	23496,0	47,9	440,5	12876,6	1934,8	8,4	250,1	1144,8	8500	1040	0,13	9,96	0,17	0,08		
23/1/2019	aguas superficiales	Cp	F7	8,5	20,0	1843,0	1216,4	80,5	582,4	253,4	12,8	14,8	7,7	11,2	390	50	0,01	0,35	0,01	1,96	
		Cm	M	7,9	21,1	25500,0	16830,0	0,0	203,6	8485,1	880,3	4,1	191,1	667,7	3700	200	ND	ND	ND	ND	
			C1	7,9	21,1	33300,0	21978,0	37,0	240,1	12361,3	1448,8	2,5	231,9	1048,8	7800	290	ND	ND	ND	ND	
			C2	7,9	21,1	36700,0	24222,0	35,9	221,3	13850,3	972,0	4,4	231,9	1085,0	8600	320	ND	ND	ND	ND	
		LP	C3	7,7	21,1	37600,0	24816,0	34,8	225,7	13614,0	953,7	2,9	56,3	1298,0	7900	300	ND	ND	ND	ND	
			C3L	7,4	21,1	46500,0	30690,0	31,6	334,1	17537,4	825,3	8,5	212,0	1583,3	9700	380	ND	ND	ND	ND	
			C4	7,5	21,1	39000,0	25740,0	23,9	212,4	14630,3	1302,1	3,2	122,6	1271,8	7500	260	ND	ND	ND	ND	
		aguas subterráneas	Cp	C5	7,6	21,1	38800,0	25608,0	35,9	211,3	13306,7	1082,0	3,2	122,6	1314,0	7000	280	ND	ND	ND	ND
				C6	7,8	21,1	38800,0	25608,0	35,9	245,6	12644,9	1118,7	4,3	218,6	1304,0	6300	260	ND	ND	ND	ND
	F1			7,5	21,1	13710,0	9048,6	77,3	652,8	4443,4	165,1	4,2	82,8	317,5	2450	70	ND	ND	ND	ND	
	F2			7,4	21,0	10130,0	6685,8	56,6	470,2	3167,1	55,0	7,7	139,1	301,4	1500	106	ND	ND	ND	ND	
	Bi	Cp	F4	7,3	21,1	26900,0	17754,0	82,7	541,0	9052,3	256,8	7,8	175,6	801,7	3700	120	ND	ND	ND	ND	
			F5	7,5	21,1	15360,0	10137,6	65,3	967,0	4632,5	146,7	10,0	274,9	421,9	2150	20	ND	ND	ND	ND	
F6			7,6	21,1	21100,0	13926,0	97,9	877,4	8036,0	256,8	11,6	165,6	524,4	4260	100	ND	ND	ND	ND		
F3			7,2	21,0	37700,0	24882,0	60,9	931,6	13897,6	403,5	4,7	278,2	1121,1	8100	260	ND	ND	ND	ND		
F7			7,6	21,2	6770,0	4468,2	55,5	440,4	2056,3	128,4	7,2	86,5	104,3	880	69	ND	ND	ND	ND		

TABLA VI. BALANCE DE CARGAS Y CALCULO DE ERROR (%) EN LAS MUESTRAS DEL SECTOR NORTE. M: mar, Cm: canal de marea; LS: laguna secundaria, LP: laguna principal; agua subterránea: Bi: bajos intermareales y Cpi: crestas de playa en zonas intermareales.

Fecha	Procedencia	Muestra	pH	T°C	CE μS/cm	STD mg/L	CO ₃ ⁻² meq/L	HCO ₃ ⁻ meq/L	Cl ⁻ meq/L	SO ₄ ⁻² meq/L	NO ₃ ⁻ meq/L	Ca ⁺² meq/L	Mg ⁺² meq/L	Na ⁺ meq/L	K ⁺ meq/L	Aniones	Cationes	Error %	
30/11/2017	aguas superficiales	M	M	8,3	19,7	19650	12969	0,7	1,8	203,2	8,2	0,1	13,5	49,0	191,4	3,6	214,0	257,5	9,2
		Cm	C1	8,4	19,2	41100	27126	1,8	1,6	428,7	19,9	0,1	32,0	79,2	369,7	9,5	452,0	490,4	4,1
			C2	8,4	19,4	42000	27720	1,7	2,1	436,3	23,8	0,1	36,5	76,9	417,6	9,7	464,1	540,7	7,6
			C3	8,4	19,6	42600	28116	1,8	2,1	482,1	15,0	0,1	37,0	77,8	369,7	10,7	501,2	495,3	-0,6
		LS	C3L	8,6	19,8	53700	35442	0,0	0,0	579,4	31,2	0,2	51,5	106,9	543,7	13,8	610,8	715,9	7,9
		LP	C4	8,6	19,7	43600	28776	1,8	2,3	440,7	57,9	0,2	17,5	130,7	478,5	10,7	502,9	637,5	11,8
			C5	8,5	20,3	43800	28908	1,7	1,9	490,4	32,9	0,1	39,0	81,6	513,3	9,2	527,0	643,1	9,9
	aguas subterráneas	Bi	C6	8,5	19,7	43300	28578	1,1	3,5	427,4	44,5	0,1	28,0	88,3	417,6	8,2	476,7	542,0	6,4
			F2	7,7	19,0	9820	6481	2,8	13,0	85,9	12,5	0,1	10,0	11,8	66,6	1,8	114,2	90,2	-11,8
			F4	7,5	22,1	33700	22242	2,2	6,7	351,1	18,2	0,1	29,0	85,8	295,8	6,4	378,1	417,0	4,9
			F5	7,9	19,5	12340	8144	4,2	15,7	102,4	72,9	0,3	50,5	19,3	88,7	3,8	195,5	162,3	-9,3
			F6	7,8	19,5	22600	14916	5,3	13,7	107,5	88,5	0,4	62,5	68,3	79,2	1,5	215,4	211,5	-0,9
	Cp	F7	8,4	22,5	2500	1650	3,5	10,5	0,1	10,2	0,1	0,8	1,7	18,7	0,6	24,5	21,7	-5,9	
13/3/2018	aguas superficiales	M	M	8,0	20,0	31400	20724	0,0	3,4	372,8	40,0	0,2	0,8	8,2	500,2	15,6	416,5	524,9	11,5
		Cm	C1	9,0	20,7	38200	25212	0,0	3,4	469,1	19,9	0,1	0,9	16,8	652,5	20,5	492,5	690,6	16,8
			C2	8,9	21,3	40800	26928	0,4	3,3	479,3	19,0	0,1	1,1	13,2	617,7	20,5	502,0	652,4	13,0
			C3	8,9	20,1	40600	26796	0,0	3,7	459,5	22,6	0,1	0,9	9,6	591,6	20,2	485,8	622,3	12,3
		LS	C3L	SECO															
		LP	C4	8,6	21,3	49900,0	32934,0	0,0	6,4	631,0	26,1	0,4	1,6	14,0	730,8	26,9	663,9	773,2	7,6
C5	9,1		20,9	49600,0	32736,0	0,0	4,5	462,1	24,1	0,4	1,7	14,1	656,8	24,8	491,1	697,5	17,4		

"Procesos condicionantes de la calidad del agua subterránea en las zonas de borde continental del acuífero costero medanoso: aplicaciones al abastecimiento de agua en poblaciones rurales y al sustento de áreas naturales" M.J. Galliari

	aguas subterráneas	Bi	C6	9,0	21,3	49200,0	32472,0	0,0	4,5	568,5	22,1	0,2	1,4	14,0	639,4	23,8	595,3	678,6	6,5
			F2	7,1	12,9	20700,0	13662,0	0,0	11,4	226,3	10,5	0,3	1,8	5,2	230,5	8,2	248,4	245,7	-0,6
			F5	7,4	13,4	24000,0	15840,0	0,0	12,3	254,9	12,2	0,3	1,6	5,3	282,7	10,2	279,7	299,9	3,5
			F8	7,5	15,7	35100,0	23166,0	0,0	13,7	385,6	14,8	0,1	1,5	6,6	378,4	15,9	414,2	402,4	-1,5
		Cp	F7	7,8	14,7	11100,0	7326,0	2,0	8,2	86,0	6,0	0,3	0,9	3,7	49,2	4,4	102,6	58,3	-27,6
22/8/2018	aguas superficiales	M	M	8,0	20,1	21100,0	13926,0	0,0	3,0	202,1	18,4	0,1	10,4	45,5	195,7	18,7	223,6	270,3	9,5
		Cm	C1	8,5	20,4	19220,0	12685,2	1,9	3,8	194,9	16,3	0,1	6,1	40,9	152,2	14,3	216,9	213,5	-0,8
			C2	8,6	20,4	19880,0	13120,8	1,1	4,6	200,1	16,4	0,1	7,1	39,2	147,9	14,8	222,4	209,0	-3,1
			C3	8,6	20,5	19000,0	12540,0	1,4	3,8	192,3	19,1	0,0	7,5	37,5	130,5	13,8	216,6	189,3	-6,7
		LS	C3L	9,1	20,6	15820,0	10441,2	0,9	3,7	269,0	20,0	0,1	15,6	20,0	187,0	11,8	293,8	234,4	-11,2
		LP	C4	8,9	20,6	19900,0	13134,0	1,3	4,3	219,6	28,1	0,1	3,1	49,8	174,0	17,1	253,3	244,0	-1,9
	C5		8,6	20,6	20300,0	13398,0	0,0	5,2	239,8	29,2	0,2	3,3	47,8	165,3	17,9	274,3	234,3	-7,9	
	C6		8,7	20,7	20200,0	13332,0	0,0	5,4	230,7	28,6	0,1	2,7	47,7	160,9	17,1	264,8	228,4	-7,4	
	aguas subterráneas	Bi	F1	7,6	20,0	6700,0	4422,0	0,0	15,2	41,6	21,0	0,1	1,3	8,2	62,6	4,6	77,9	76,7	-0,7
			F2	8,0	20,6	3050,0	2013,0	1,3	11,5	6,5	14,5	0,3	0,2	2,6	27,8	2,6	34,1	33,2	-1,4
			F4	7,3	19,5	17290,0	11411,4	1,5	7,9	167,4	4,3	0,1	7,2	34,0	151,4	10,5	181,2	203,1	5,7
			F5	8,1	19,9	4460,0	2943,6	1,3	13,5	24,2	13,7	0,6	2,3	3,8	42,2	2,8	53,3	51,1	-2,1
F6			7,6	19,9	9110,0	6012,6	0,0	17,1	70,4	14,1	0,4	4,3	12,6	69,6	5,9	102,0	92,4	-5,0	
F8			8,1	19,8	10530,0	6949,8	0,0	8,5	86,4	20,6	0,1	4,2	20,6	87,4	6,6	115,6	118,9	1,4	
F3		7,2	20,6	35600,0	23496,0	1,6	7,2	363,2	40,3	0,1	12,5	94,2	369,7	26,6	412,4	503,0	9,9		
Cp	F7	8,5	20,0	1843,0	1216,4	2,7	9,5	7,1	0,3	0,2	0,4	0,9	17,0	1,3	19,9	19,5	-0,8		
23/1/2019	aguas superficiales	M	M	7,9	21,1	25500,0	16830,0	0,0	3,3	239,3	18,3	0,1	9,5	54,9	160,9	5,1	261,1	230,5	-6,2
		Cm	C1	7,9	21,1	33300,0	21978,0	1,2	3,9	348,7	30,2	0,0	11,6	86,3	339,3	7,4	384,0	444,6	7,3
			C2	7,9	21,1	36700,0	24222,0	1,2	3,6	390,7	20,2	0,1	11,6	89,3	374,1	8,2	415,8	483,1	7,5
			C3	7,7	21,1	37600,0	24816,0	1,2	3,7	384,0	19,9	0,0	2,8	106,8	343,6	7,7	408,8	460,9	6,0
LS	C3L	7,4	21,1	46500,0	30690,0	1,1	5,5	494,7	17,2	0,1	10,6	130,3	421,9	9,7	518,5	572,5	4,9		

"Procesos condicionantes de la calidad del agua subterránea en las zonas de borde continental del acuífero costero medanoso: aplicaciones al abastecimiento de agua en poblaciones rurales y al sustento de áreas naturales" M.J. Galliari

		LP	C4	7,5	21,1	39000,0	25740,0	0,8	3,5	412,7	27,1	0,1	6,1	104,7	326,2	6,6	444,1	443,7	-0,1
			C5	7,6	21,1	38800,0	25608,0	1,2	3,5	375,3	22,5	0,1	6,1	108,1	304,5	7,2	402,6	425,9	2,8
			C6	7,8	21,1	35047,0	25608,0	1,2	4,0	356,7	23,3	0,1	10,9	107,3	274,0	6,6	385,3	398,9	1,7
	aguas subterráneas	Bi	F1	7,5	21,1	13710,0	9048,6	2,6	10,7	125,3	3,4	0,1	4,1	26,1	106,6	1,8	142,1	138,6	-1,2
			F2	7,4	21,0	10130,0	6685,8	1,9	7,7	89,3	1,1	0,1	6,9	24,8	65,2	2,7	100,2	99,7	-0,2
			F4	7,3	21,1	26900,0	17754,0	2,8	8,9	255,3	5,3	0,1	8,8	66,0	160,9	3,1	272,4	238,7	-6,6
			F5	7,5	21,1	15360,0	10137,6	2,2	15,8	130,7	3,1	0,2	13,7	34,7	93,5	0,5	151,9	142,5	-3,2
			F6	7,6	21,1	21100,0	13926,0	3,3	14,4	226,7	5,3	0,2	8,3	43,2	185,3	2,6	249,8	239,3	-2,2
			F3	7,2	21,0	37700,0	24882,0	2,0	15,3	392,0	8,4	0,1	13,9	92,3	352,3	6,6	417,8	465,1	5,4
		Cp	F7	7,6	21,2	6770,0	4468,2	1,8	7,2	58,0	2,7	0,1	4,3	8,6	38,3	1,8	69,9	52,9	-13,8

"Procesos condicionantes de la calidad del agua subterránea en las zonas de borde continental del acuífero costero medanoso: aplicaciones al abastecimiento de agua en poblaciones rurales y al sustento de áreas naturales" M.J. Galliar

Tabla VII. CONDUCTIVIDADES ELECTRICAS PROMEDIAS. SECTOR SUR. M-III: médanos sobreimpuestos al cordón actual; M-II médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales; M-I mantos arenosos.

GEOFORMA	MUESTRA	CE promedio (μS/cm)
M-III	MDA1	871
	MDA2	509
	MDA3	409
M-II	PV1	1137
	PV3	524
	PV4	637
	PV5	941
	PV6	1406
	PV7	583
	PV9	702
	PV10	1127
	PV11	114
	PV13	161
PV14	375	
MA	MAPV	343

Tabla VIII. CONDUCTIVIDADES ELÉCTRICAS PROMEDIAS. SECTOR CENTRAL. M-III: médanos sobreimpuestos al cordón actual; M-II médanos sobreimpuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales; Cpc: crestas de playa actualmente en zonas continentales; M-I mantos arenosos y C: aguas superficiales de cañadas en bajos intercretales. ND: no determinado.

GEOFORMA	MUESTRA	CE promedio (μS/cm)
M-III	MDTF1	731
	MDTF2	358
	MDTF3	604
M-II	1	909
	2	977
	3	1126
	4	526
	7	1433

"Procesos condicionantes de la calidad del agua subterránea en las zonas de borde continental del acuífero costero medanoso: aplicaciones al abastecimiento de agua en poblaciones rurales y al sustento de áreas naturales" M.J. Galliar

	8	1090
	11	890
	12	1856
	13	1175
	14	665
	18	1482
	FC	979
	Fcolm	258
Cpc	5	3847
	6	1561
	9	3444
	10	5688
	15	1591
	16	4495
	17	6141
	F1T	1418
	F4	952
	F5	1585
	FL5B	798
M-I	MA1	1982
	MA2	3900
	MA3	2760
	MA4	620
	MA5	542
	MA6	677
	MA7	638
	MA8	711

Tabla IX. CONDUCTIVIDADES ELÉCTRICAS PROMEDIAS. SECTOR NORTE. M: mar, Cm: canal de marea; LS: laguna secundaria, LP: laguna principal; agua subterránea: Bi: bajos intermareales y Cpi: crestas de playa en zonas intermareales.

GEOFORMA	MUESTRA	CE promedio (μS/cm)
M	M	24413
Cm	LC1	32955
	LC2	34845
	LC3	34950
LS	LC3I	38673
LP	LC4	38100
	LC5	38125
	LC6	37875
Bi	Lf1	10205
	Lf2	10925
	Lf3	36650
	Lf4	25963
	Lf5	14040
	Lf6	20928
	Lf8	26843
	Lf7	5553
Cpi	Lf7	5553

Tabla X. Promedios de medidas tomadas in-situ (pH, T°C, CE) y concentración de iones mayoritarios en las geoformas correspondientes a cada Sector. M-III: médanos sobrepuestos al cordón actual; M-II médanos sobrepuestos a antiguas crestas de playa actualmente en zonas continentales; Cpc: crestas de playa actualmente en zonas continentales; M-I mantos arenosos y C: aguas superficiales de cañadas en bajos intercrestaes; M: mar, Cm: canal de marea; LS: laguna secundaria, LP: laguna principal; agua subterránea: Bi: bajos intermareales y Cpi: crestas de playa en zonas intermareales.

Sector	Procedencia	Geoforma	pH	T°C	CE μS/cm	STD mg/L	CO ₃ ⁻² mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	SO ₄ ⁻² mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	Ca ⁺² mg/L	Mg ⁺² mg/L	Na ⁺ mg/L	K ⁺ mg/L
SUR	Aguas subterráneas	M-III	7,7	21,4	651	429	9	320	44	6	1	77	19	38	12
		M-II	7,8	20,9	920	607	14	441	87	15	10	98	23	82	16
		M-I	8,1	20,2	687	453	25	276	86	13	14	88	30	31	9
CENTRAL	Aguas subterráneas	M-III	7,4	21,6	532	373	2	336	28	7	15	76	18	29	9
		M-II	7,6	22,3	993	695	28	456	108	21	12	84	38	85	24
		Cpc	7,4	22,3	2813	1969	37	716	600	29	24	115	69	397	31
		M-I	7,7	22,2	1593	1051	22	416	294	57	11	116	43	169	15
	Aguas superficiales	C	7,2	22,3	967	677	7	399	151	13	13	69	28	103	27
NORTE	Aguas superficiales	M	8,1	20,2	24413	16112	6	176	9018	1021	7	171	479	6025	420
		Cm	8,4	20,4	34250	22605	35	201	13193	969	5	259	682	8633	513
		LS	8,3	20,5	38673	25524	40	253	15872	1096	8	518	1042	8833	460
		LP	8,4	20,7	38033	25102	23	249	14343	1467	10	203	818	9275	574
	Aguas subterráneas	Bi	7,6	19,2	19805	13071	52	724	6682	909	13	255	473	3831	259
		Cpi	8,1	19,6	5553	3665	75	545	1341	229	13	32	45	708	79