

GEOHIDROLOGÍA DEL HUMEDAL COSTERO DE BAHÍA SAN BLAS

2023

Lucas Misseri

Directoras:

Dra. Eleonora S. Carol

Dra. María del Pilar Alvarez



Facultad de Ciencias Naturales y Museo (FCNyM)

Universidad Nacional de La Plata (UNLP)

ÍNDICE

<u>AGRADECIMIENTOS</u>	I
<u>RESUMEN</u>	II
<u>Abstract</u>	V
1. <u>Introducción</u>	1
2. <u>CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA Y MAREAL</u>	4
2.1 Introducción	4
2.2 Metodología	4
2.3 Resultados	7
2.3.1 Clima	7
2.3.1.1 Precipitación	7
2.3.1.2 Temperatura	15
2.3.1.3 Evapotranspiración	17
2.3.1.4 Balance hídrico	18
2.3.1.5 Clasificación climática	19
2.3.2 Mareas	19
3. <u>GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA</u>	21
3.1 Introducción	21
3.2 Metodología	21
3.3 Marco geológico regional	22
3.3.1. Tectónica y estratigrafía regional	22
3.3.2 Estratigrafía de Bahía San Blas y zonas aledañas	25
3.4 Geomorfología	32
3.4.1 Dominio mixto	34
3.4.2 Dominio continental	35
3.4.3 Dominio litoral	36
3.4.3.1 Marismas	45
4. <u>SUELOS</u>	48
4.1 Introducción	48
4.2 Metodología	48
4.3 Resultados	52
4.3.1 Unidades pedológicas regionales	52

4.3.2 Descripción de perfiles del humedal.....	53
4.3.3 Análisis texturales.....	80
4.3.4 Mineralogía.....	85
4.3.5 Evaluación de materiales sulfídicos.....	101
5. <u>HIDRODINÁMICA</u>.....	107
5.1 Introducción.....	107
5.2 Metodología.....	107
5.3 Resultados.....	109
6. <u>HIDROQUÍMICA</u>.....	128
6.1 Introducción.....	128
6.2 Metodología.....	128
6.3 Resultados.....	130
6.3.1 Salinidad.....	130
6.3.2 Facies químicas y elementos mayoritarios.....	133
6.3.3 Nutrientes.....	149
6.3.4 Elementos trazas.....	152
7. <u>DISCUSIÓN Y MODELO CONCEPTUAL</u>.....	156
7.1 Geohidrología del humedal asociado al canal Jabalí.....	156
7.2 Modelo conceptual del funcionamiento geohidrológico.....	163
8. <u>CONCLUSIONES</u>.....	166
9. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>.....	169
A. <u>ANEXO I: Muestras de suelos</u>.....	184
B. <u>ANEXO II: Muestras de agua</u>.....	189

*El agua está fluyendo mañana
el saber viene detrás.*

AGRADECIMIENTOS

A mi abuela Ita por ser más madre que abuela.

A mis hermanas y mi hermano por apoyarme en cada paso.

A mis amigos y amigas del alma, mi otra familia, por su amor incondicional.

A mis amigos y amigas de la facultad, siempre dispuestos a ayudar y con la alegría de cada reencuentro.

A mis amigos y amigas de Puerto Madryn, pilares en esa hermosa ciudad.

A Carola y a Milena por acompañarme en distintas etapas y a su manera, siempre con el recuerdo de los bellos momentos vividos.

A mis directoras por la gran oportunidad de transitar este camino de aprendizaje con sus importantes aportes.

A Germán Cheli por recibirme desde el primer día como un par y por todos los días compartidos en la oficina.

A Pablo Bouza por todo lo sumado desde su valiosa experiencia, pero sobre todo por su calidez y humildad.

A Lina Videla y Tomás Bosco por su asesoramiento, gran ayuda y enorme predisposición.

Al Bocha porque sin él hubiera sido imposible realizar una segunda campaña, por embarrarse, transpirar y pasar frío sólo para colaborar.

A Gabi Masferro por su paciencia y estar siempre dispuesta a darme una mano con el microscopio.

A cada becario y becaria del CENPAT con quien compartimos charlas, pasillos y juntadas.

A todo el personal del CENPAT que hizo de esos años una linda experiencia y un trabajo más ameno.

Al grupo de Geohidrología del Centro de Investigaciones Geológicas por su ayuda cada vez que la necesité.

Al personal de Aluar que me facilitó el uso de equipamiento clave para esta investigación.

A la señora Susana de Bahía San Blas por el inmenso aporte de casi 40 años de datos pluviométricos obtenidos por su propia cuenta.

A los dueños y personal de las estancias de Bahía San Blas por permitirme el acceso durante las campañas y, especialmente, a Daniel Ciampinelli por brindarme hospedaje.

Al personal del Servicio de Hidrografía Naval que me dio acceso a datos mareales.

A la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica por la beca otorgada y particularmente a Silvia Moya de la Fundación Ciencias Exactas por su tan eficiente trabajo y amabilidad.

A la Universidad Nacional de La Plata y la Facultad de Ciencias Naturales y Museo por brindarme educación gratuita y de alta calidad, lo que me enorgullece como argentino, sobre todo cuando hoy se ve seriamente comprometida.

RESUMEN

Las marismas son uno de los ambientes geohidrológicos más variables tanto espacial como temporalmente. El litoral de Bahía San Blas, ubicado al sur de la provincia de Buenos Aires, constituye un entorno costero en donde humedales de tipo marismas se desarrollan en las márgenes de extensos canales de marea. Esta zona de humedales que se enmarca dentro de la Reserva Natural de Uso Múltiple Bahía San Blas brinda numerosos servicios ecosistémicos a la población local. Pese a la importancia de estos humedales costeros y al rol que el agua superficial y subterránea juega en el sustento de los mismos, no existen estudios geohidrológicos para esta zona. El objetivo general de la tesis doctoral es definir el funcionamiento geohidrológico del humedal costero de Bahía San Blas, en el sector litoral del canal Jabalí. Por su parte, los objetivos específicos incluyen: realizar una caracterización geológica, geomorfológica y climática regional abarcando el litoral de Bahía San Blas; definir las características pedológicas del sustrato del humedal y la dinámica del flujo subterráneo en relación a los flujos mareales y condiciones climáticas; caracterizar geoquímicamente las aguas subterráneas y superficiales dentro del ambiente de humedal; determinar tanto los procesos geohidrológicos como las variables climáticas, edáficas y geomorfológicas que condicionan la geoquímica y la variabilidad espacio-temporal de la composición de las aguas (subterráneas y superficiales) y formular un modelo conceptual de comportamiento geohidrológico del humedal.

Para ello, se efectuó la recopilación de información antecedente en relación a la geología y geomorfología, se recopilaron datos mareales y climáticos y se efectuaron balances hídricos. Para el estudio de suelos se efectuaron calicatas en distintos sectores del humedal mientras que para el estudio de la hidrodinámica e hidroquímica del humedal se generó una red de monitoreo para la medición de niveles y muestreo de agua. Se describieron los suelos determinándose las características texturales, mineralogía (DRX y MEB), salinidad y pH. Particularmente en algunos suelos se efectuaron ensayos de pH de oxidación. Por su parte la red de monitoreo de agua cuenta con puntos de medición de agua superficial y subterránea, estos últimos compuestos por perforaciones someras. Los niveles de agua se midieron con sonda sonora manual y con sensores de registro continuo. En cada punto se midió in situ la conductividad eléctrica del agua y el pH y se extrajeron muestras para la determinación de iones mayoritarios, nutrientes, trazas e isótopos estables de la molécula de agua. El conjunto de datos fue analizado integralmente y se generó un modelo conceptual del funcionamiento geohidrológico del humedal.

Los resultados obtenidos muestran que el canal Jabalí es un gran canal de mareas al cual se asocian humedales dominados por ambientes de marismas salinas. Estos ambientes se encuentran circundados por diversas geoformas entre las que destacan Cordones litorales y Planicies continentales. Entre los primeros, resaltan los Cordones gravosos que limitan casi la totalidad de la planicie mareal del canal Jabalí, ubicándose los de edad pleistocena al Oeste del mismo y los de edad holocena hacia el Este. También se reconocen Cordones arenosos que impiden el acceso del mar en el Sudeste de la zona

de estudio, condicionando las características de la región de Paso Seco. La marisma se superpone a geoformas tales como las Planicies Fangosas, las Barras arenosas, los Cordones gravosos y, en la región de Paso Seco, la Planicie Arenosa. Se ha verificado la influencia de estas geoformas en el aporte del material parental de las secuencias pedo-sedimentarias determinando las clases texturales predominantes, derivando también en contrastes de permeabilidad que en superficie se traducen en variaciones en la capacidad de infiltración del agua mareal en el humedal.

El humedal es inundado periódicamente por la marea, cuyo rango se ubica en el límite micromareal-mesomareal, discriminándose una zona de marisma baja inundada a diario por las pleamares de cuadratura y otra de marisma alta alcanzada sólo por las pleamares de sicigia y las extraordinarias. En las márgenes dominan los suelos del orden Entisoles, presentando abundantes discontinuidades litológicas y rasgos hidromórficos como moteados en la marisma alta y colores gley en la marisma baja. Sobre la superficie de muchos de los perfiles estudiados se hallaron costras salinas, cuya formación se relaciona a un clima árido a semiárido en donde la evapotranspiración excede a la precipitación, favoreciendo la precipitación de sales a partir de la evaporación total del agua mareal. De esta manera, los suelos más salinos resultaron ser aquellos ubicados en la marisma alta y en el sector distal del canal Jabalí. Asimismo, se comprobó la presencia de materiales sulfídicos bajo condiciones reductoras a partir de un ensayo de pH de incubación y la observación de pirita framboidal en el MEB.

Por otro lado, la combinación de factores, como la clase textural de los perfiles, la posición topográfica y la distancia a la boca del canal, condiciona la relación entre el agua superficial y el agua subterránea, lo que se traduce en desfases temporales entre las fluctuaciones mareales y las registradas en el nivel freático. Si bien el flujo mareal es el principal aporte de agua al humedal, la posición más elevada del nivel freático en las geoformas adyacentes al humedal del canal Jabalí respecto del nivel de la marisma, evidencia que el humedal también recibe la descarga de agua subterránea desde geoformas adyacentes como los Cordones y la Planicie continental alta, donde ocurre la recarga preferencial del agua subterránea por la infiltración del agua de lluvia. De acuerdo a los análisis isotópicos, en la planicie mareal actual ocurre la mezcla de agua de lluvia y mareal, predominando esta última, especialmente en la marisma baja.

En adición, se diferencian facies bicarbonatadas sódicas y cloruradas sódicas en los Cordones holocenos y exclusivamente cloruradas sódicas en los Cordones pleistocenos y la Planicie continental alta, mientras que el agua subterránea de la marisma presenta facies cloruradas sódicas con mayor salinidad. Dentro de la marisma el aporte de agua mareal y la disolución de sales evaporíticas son los procesos geoquímicos que determinan la composición del agua. La marisma baja posee menor salinidad que la marisma alta y ésta su máxima salinidad en Paso Seco.

Las especies solubles de nutrientes presentan menores concentraciones en las unidades del humedal en comparación con las geoformas adyacentes las cuales pueden recibir aportes mediante las actividades productivas de tipo principalmente ganadera.

Contrariamente, los elementos trazas poseen mayores concentraciones en la marisma, donde en el sector más elevado, se concentran aún más debido a la evaporación y posterior disolución de sales.

Los resultados de esta tesis permitieron proponer un modelo geohidrológico de funcionamiento de la marisma del canal Jabalí donde se sintetizan los factores y procesos que lo controlan. En síntesis, el modelo conceptual plantea que los Cordones gravosos funcionan como zonas de recarga de agua meteórica y la marisma mayormente fangosa representa la zona de descarga de los flujos subterráneos, recibiendo aportes superficiales desde el canal Jabalí. En el agua subterránea predominan las facies Cl-Na, distinguiéndose menor CE en los Cordones holocenos gravosos, respecto a los de edad pleistocena. A su vez, la marisma presenta mayor CE que la geomorfología adyacente por los aportes mareales. También se reconocen procesos geoquímicos importantes en el aporte de iones como la disolución de $\text{CO}_2(\text{g})$ y la disolución de carbonatos, además de la concentración de nutrientes en las geoformas adyacentes al humedal. Por último, surgen diferencias sustanciales entre la marisma alta y la baja, observándose en los suelos de la primera moteados y costras salinas superficiales, mientras que la segunda exhibe comúnmente colores gley y materiales sulfídicos por los mayores períodos de saturación y condiciones reductoras. Además, en la marisma alta se registra mayor salinidad y contenido más alto de iones mayoritarios y elementos trazas, lo cual deriva de un proceso acumulativo de disolución de sales y reprecipitación de las mismas.

El entendimiento de la complejidad de este tipo de humedales, es un paso clave para la generación de líneas bases que colaboren con una gestión responsable y eficiente de estos ambientes que proveen servicios ecosistémicos tanto ambientales como sociales.

ABSTRACT

Marshes are one of the most spatially and temporally variable geohydrological environments in the world. The coastline of Bahía San Blas, located at the south of Buenos Aires province, is a coastal environment where marsh-type wetlands develop along the margins of extensive tidal channels. This wetland area belongs to the San Blas Bay Multiple Use Nature Reserve and provides numerous ecosystem services to the local population. Despite the importance of these coastal wetlands and the role that surface and groundwater play in sustaining them, there are no geohydrological studies for this area. The general objective of this doctoral thesis is to define the geohydrological functioning of the coastal wetland of Bahía San Blas, in the littoral sector of the Jabalí channel. The specific objectives include: to carry out a regional geological, geomorphological and climatic characterization of the San Blas Bay coastline; define the pedological characteristics of the wetland substrate and groundwater flow dynamics in relation to tidal flows and climatic conditions; geochemically characterize groundwater and surface water within the wetland environment; to determine both the geohydrological processes and the climatic, edaphic and geomorphological variables that condition the geochemistry and the spatio-temporal variability of water composition (groundwater and surface water) and to formulate a conceptual model of the geohydrological behaviour of the wetland.

For this purpose, antecedent information was collected in relation to geology and geomorphology, tidal and climatic data were collected and water and geohydrological balances of the wetland were carried out. For the soil study, soil pits were dug in different sectors of the wetland, while for the study of the hydrodynamics and hydrochemistry of the wetland, a monitoring network was generated for the measurement of water levels and water sampling. The soils were described by determining textural characteristics, mineralogy (XRD and SEM), salinity and pH. In particular, oxidation pH tests were carried out on some soils. The water monitoring network has surface and groundwater measurement points, the latter consisting of shallow boreholes. Water levels were measured with a hand water level meter and with continuous recording sensors. At each point, the electrical conductivity of the water and pH were measured in situ, and samples were extracted for the determination of major ions, nutrients, trace ions and stable isotopes of the water molecule. The data set was analysed as a whole and a conceptual model of the geohydrological functioning of the wetland was generated.

The results obtained show that the Jabalí channel is a large tidal channel with associated wetlands dominated by salt marsh environments. These environments are surrounded by a variety of geoforms, including Coastal Ridges and Continental Plains. Among the former are the gravelly ridges that limit almost the entire tidal plain of the Jabalí channel, with those of Pleistocene age to the west and those of Holocene age to the east. Sandy ridges are also recognized which prevent access to the sea in the

southeast of the study area, conditioning the characteristics of the Paso Seco region. The marsh is superimposed over geofoms such as the Mudflats, the Sandy Bars, the Gravelly Ridges and, in the Paso Seco region, the Sandy Plain. The influence of these geofoms on the contribution of the parent material of the pedo-sedimentary sequences has been verified, determining the predominant textural classes, also resulting in permeability contrasts that on the surface translate into variations in the infiltration capacity of tidal water in the wetland. The wetland is periodically flooded by the tide, the range of which is located at the microtidal-mesotidal limit, with a low marsh zone flooded daily by the quadrature high tides and a high marsh zone reached only by the syzygy high tides and the extraordinary high tides. The margins are dominated by soils of the Entisols order, with abundant lithological discontinuities and hydromorphic features such as mottling in the high marsh and gley colours in the low marsh. On the surface of many of the studied sections, salt crusts were found, the formation of which is related to an arid to semi-arid climate where evapotranspiration exceeds precipitation, favouring the precipitation of salts from the total evaporation of tidal water. Thus, the most saline soils were found to be those located in the high marsh and in the distal sector of the Jabalí channel. The presence of sulfides materials under reducing conditions was also verified by means of an incubation pH test and the observation of framboidal pyrite in the SEM.

On the other hand, the combination of factors, such as the textural class of the sections, the topographic position and the distance to the mouth of the channel, conditions the relationship between surface water and groundwater. This result in time lags between tidal fluctuations and those recorded in the water table. While tidal flow is the main water input to the wetland, the higher position of the water table in the geofoms adjacent to the Jabalí Channel wetland indicates that the wetland also receives groundwater discharge from the adjacent Ridges and Continental Plains, where preferential groundwater recharge from rainwater infiltration occurs. According to isotopic analyses, the actual tidal plain is a mixture of rainwater and tidal water, with the latter predominating, especially in the low marsh sector.

In addition, sodium bicarbonate facies are differentiated in the Holocene Ridges and sodium chloride facies in the Pleistocene Ridges and the High Continental Plain, while the groundwater of the marsh has sodium chloride facies with higher salinity. Within the marsh, the contribution of tidal water and the dissolution of evaporite salts are the geochemical processes that determine the composition of the water. The low marsh has a lower salinity than the high marsh, and the high marsh has its maximum salinity at Paso Seco.

The soluble nutrient species have lower proportions in the wetland units in comparison with the adjacent geomorphology, which may receive inputs through productive activities, mainly livestock farming. In contrast, trace elements have higher concentrations in the marsh, where they are even more concentrated in the highest sector due to evaporation and subsequent dissolution of salts.

The results of this thesis allowed to propose a geohydrological model of the functioning of the Jabalí channel marsh where the factors and processes that control it are synthesised. In summary, the conceptual model proposes that Gravelly Ridges function as meteoric water recharge zones and the mostly muddy marsh represents the discharge zone of the underground flows, receiving surface contributions from the Jabalí channel. In the groundwater the Cl-Na facies predominate, with lower EC being distinguished in the Holocene Gravelly Ridges, compared to those of Pleistocene age. In turn, the marsh has a higher EC than the adjacent geomorphology due to tidal inputs. Important geochemical processes are also recognized in the contribution of ions such as the dissolution of CO₂(g) and the dissolution of carbonates, in addition to the concentration of nutrients in the geofoms adjacent to the wetland. Finally, substantial differences arise between the high and low marshes with mottles and superficial saline crusts being observed in the soils of the high marsh, while the low marsh commonly exhibits gley colors and sulfidic materials due to longer periods of saturation and reducing conditions. Furthermore, in the high marsh there is greater salinity and a higher content of major ions and trace elements, which derives from a cumulative process of dissolution of salts and their reprecipitation.

Understanding the complexity of this type of wetlands is a key step for the generation of baselines that collaborate with a responsible and efficient management of these environments that provide both environmental and social ecosystem services.

1.

INTRODUCCIÓN

Los humedales costeros son ambientes de gran importancia por los servicios ecosistémicos que prestan, ya sean los directamente vinculados a la población o aquellos que cumplen una función en la existencia de un sistema ecológico. Dentro de los servicios más frecuentes pueden mencionarse el ciclado de nutrientes y depuración de aguas superficiales, sustento y refugio para la vida silvestre, suministro de alimento y forraje, así como también la provisión de servicios recreativos y culturales (Odum, 1978; Allen y Pye, 1992; Alongi, 2008; Costanza *et al.*, 2008; Perillo, 2009; Isacch *et al.*, 201; Newton *et al.*, 2012; Barbier, 2013). Dentro de éstos las marismas constituyen uno de los principales humedales costeros desarrollados en las áreas litorales de medias y altas latitudes.

Las marismas son uno de los ambientes geohidrológicos más variables tanto espacial como temporalmente (Anderson y Davis, 2013; Guimond y Tamborski, 2021). En ellos, los patrones y variaciones del flujo subterráneo son controlados por las fluctuaciones de la marea, el balance hídrico local (evapotranspiración-precipitación), la descarga de agua subterránea desde los sectores más continentales, la geometría y las propiedades hidráulicas de los sedimentos que los constituyen, así como también por su geomorfología (Brinson, 1993; Allen, 2000; Varnell *et al.*, 2003; Montalto *et al.*, 2006; Gardner, 2005; Carol *et al.*, 2009, 2011; Alvarez *et al.*, 2015; Galliari *et al.*, 2021). Esos factores, que condicionan la hidrología, generan también un fuerte control sobre los procesos geoquímicos que a su vez regulan la química del agua y las características ambientales de estos humedales (Valiela *et al.*, 1978; Allen y Pye, 1992; Thibodeau *et al.*, 1998; Ladouche y Weng, 2005; Moussa *et al.*, 2011; Carol *et al.* 2009b, 2012; Moffett *et al.*, 2012; Carol *et al.*, 2013; Skrzypek *et al.*, 2013; Alvarez *et al.*, 2014; Troxler *et al.*, 2014; Carol y Alvarez 2015; Moffet *et al.*, 2016; Xin *et al.*, 2022).

Dentro del litoral atlántico argentino se desarrollan numerosos ambientes de marismas (Isacch *et al.*, 2010), dentro de los cuales se encuentran reservas naturales y sitios Ramsar (Canecari *et al.*, 1999). En Argentina, como ocurre en muchos lugares del mundo, los estudios de humedales son principalmente de carácter ecológico, siendo escasos los estudios geohidrológicos, que se refieren al agua subterránea y su interacción con el agua superficial. Sin embargo, son los flujos de agua subterráneos, junto con los superficiales y las variables climáticas (régimen de lluvias, evaporación, etc.) los principales factores que regulan los procesos geoquímicos que determinan las características ambientales de estos humedales. Cabe destacar que las áreas costeras históricamente han concentrado gran parte de la población, siendo sitios claves para el desarrollo socioeconómico, por lo que muchas marismas del litoral argentino se encuentran fuertemente afectadas por actividades antrópicas (Carol *et al.*, 2016; Tanjal *et al.*, 2017; Carol *et al.*, 2019; Newton *et al.*, 2020; Ali Santoro *et al.*, 2023). Dichas actividades alteran los procesos naturales e introducen nuevos, modificando el funcionamiento geoquímico del humedal. A estas modificaciones se suman aquellas directamente asociadas al cambio climático, tales como las variaciones en la temperatura, la precipitación, así como también las derivadas de las variaciones del nivel del mar (Tosi *et al.*, 2013). Estos cambios en la hidrología derivados del clima y las

actividades humanas pueden tener efectos tanto a largo como a corto plazo sobre los ecosistemas costeros y los servicios ecosistémicos que satisfacen.

El área de estudio se ubica en la provincia de Buenos Aires, en el sector Sudeste de la costa atlántica del partido de Patagones (Figura 1.1). Más precisamente, se encuentra al Sur de la Bahía Anegada, conformando la Reserva Natural de Uso Múltiple Bahía San Blas que incluye al pueblo homónimo y sus alrededores. El pueblo de Bahía San Blas posee alrededor de 800 habitantes, siendo las principales actividades económicas la pesca y el turismo, considerándose la capital nacional de la pesca. La misma se desarrolla de manera deportiva y artesanal tanto en el mar mediante embarcaciones como desde la playa e incluso en el canal Jabalí desde el puente de acceso al pueblo. El canal Jabalí es un extenso canal de marea que alimenta un gran humedal, el cual se encuentra circundado por campos donde se lleva a cabo la ganadería extensiva y el cultivo de trigo (Zalba, *et al.* 2008).

Pese a la importancia de estos humedales costeros y al rol que el agua superficial y subterránea juega en el sustento de los mismos, no existen estudios geohidrológicos para esta zona. En ella los antecedentes son de índole fundamentalmente biológico (Di Giácomo, 2005; Escapa *et al.*, 2004; Fiori y Carbone, 2006; Fiori y Brichi, 2006), mineralógico (Angelelli y Chaar, 1964; Cávana *et al.*, 2005), geomorfológico (Trebino, 1987; Weiler, 2000; Cuadrado y Gómez, 2010; Fucks *et al.*, 2012; Blanco, *et al.*, 2014), estratigráfico (Rutter *et al.*, 1989, Fucks *et al.*, 2011 y 2012) y cartográfico (Witte, 1916; Zalba *et al.*, 2008).

En este contexto, el objetivo general de la tesis doctoral es definir el funcionamiento geohidrológico del humedal costero de Bahía San Blas, en el sector litoral del canal Jabalí (Figura 1.1). Así, el presente trabajo de tesis doctoral resulta original aportando datos sobre ambientes de humedales geohidrológicamente no estudiados, brindando herramientas sustanciales para la conservación y gestión de los mismos.

Los objetivos específicos son:

- Realizar una caracterización geológica, geomorfológica y climática regional abarcando el litoral de Bahía San Blas en el que se enmarca el humedal asociado al canal Jabalí.
- Definir las características pedológicas del sustrato del humedal.
- Definir la dinámica del flujo subterráneo en relación a los flujos mareales y condiciones climáticas.
- Caracterizar geoquímicamente las aguas subterráneas y superficiales dentro del ambiente de humedal.
- Determinar tanto los procesos geohidrológicos como las variables climáticas, edáficas y geomorfológicas que condicionan la geoquímica y la variabilidad espacio-temporal de la composición de las aguas (subterráneas y superficiales).
- Formular un modelo conceptual de comportamiento geohidrológico del humedal.

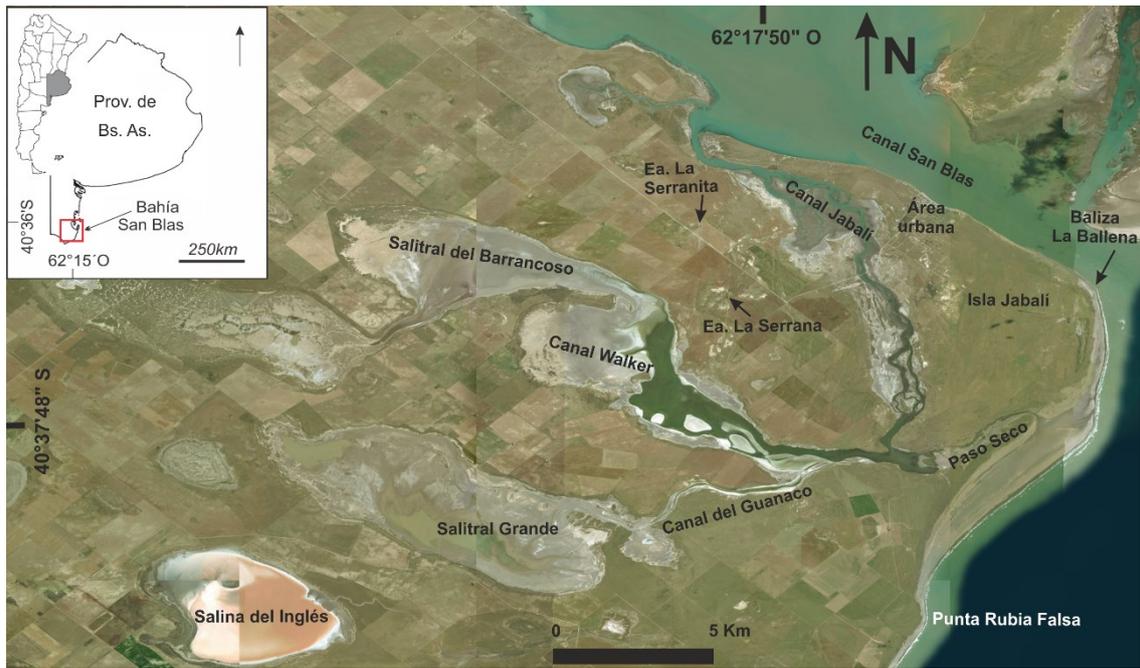


Figura 1.1. Ubicación del área de estudio.

2. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA Y MAREAL

2.1 Introducción

Las condiciones climáticas influyen en las características hidrológicas y geohidrológicas de un área, a partir de la interacción de los suelos y los componentes geológicos con el agua y el aire de la atmósfera (Winter, 2001). Por lo tanto, resulta importante abordar parámetros como la precipitación, la temperatura y la evapotranspiración, ya que condicionan la disponibilidad de agua en el sistema. Las zonas áridas y semiáridas, comúnmente exhiben períodos de déficit hídrico gran parte del año y períodos de exceso hídrico que, a pesar de ser cortos, son claves en la recarga de los acuíferos (Custodio Gimena, 2011). Sin embargo, en sectores costeros semiáridos pueden atenuarse los efectos de la escasez hídrica al disminuir la evapotranspiración por la humedad proveniente del aerosol marino y haber menores amplitudes térmicas. Particularmente, los humedales ubicados en estos sectores dependen de las inundaciones periódicas mareales, pero también pueden recibir aportes de agua de sectores continentales, tanto por escurrimiento superficial como por flujo subterráneo (Brinson, 1993). Estos aportes continentales están limitados por las variables climáticas que además repercuten en las características químicas del agua, a partir de variables como la evaporación y la precipitación que influyen en la disolución de minerales y la mezcla de aguas, dando cuentas de la estrecha relación entre el agua y el clima en sistemas hidrológicos costeros (Carol *et al.*, 2017). En complemento, las perturbaciones meteorológicas pueden producir inundaciones cuando eventos de tormentas actúan sobre zonas costeras en coincidencia con pleamares astronómicas. En este sentido, es importante establecer la frecuencia de distribución de alturas mareales que también repercutirá en la actividad biológica y la sedimentación, ya que el desarrollo de la marisma depende de la inundación mareal a un nivel determinado (Allen, 2000).

En este contexto es que en el presente capítulo se efectuará una caracterización climática del área analizando también el balance hídrico a nivel del suelo. Asimismo, se estudiarán los ciclos mareales que rigen el humedal.

2.2 Metodología

Para la realización de la caracterización climática del área de estudio y la estimación de balances hídricos se efectuó un relevamiento de las estaciones meteorológicas adyacentes al área pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Asimismo, se relevaron datos de particulares que tomaban datos de precipitaciones mediante pluviómetros (Figura 2.1). Del SMN se obtuvieron datos de precipitación y temperatura de la estación meteorológica Viedma Aero (período 1981-2010) y de Bahía Blanca (período 1956-2019). Por su parte, el INTA facilitó datos de temperatura y precipitación de la Estación Experimental Agropecuaria (E.E.A.) Hilario Ascasubi (período 1966-2019) y E.E.A. Valle

Inferior del Río Negro (1984-2017). Por último, se accedió a un registro diario (período 1984-2017) pluviométrico proveniente de una fuente particular de Bahía San Blas.

Las estaciones periféricas a Bahía San Blas fueron seleccionadas según su representatividad en base al distanciamiento a la zona de interés. Dado que sólo se cuenta con un registro pluviométrico particular en el área estudiada, se procedió a evaluar la calidad de estos datos en función de aquellos medidos por organismos nacionales (SMN e INTA) en regiones aledañas. El método de Doble Masa (Heras, 1972) fue el seleccionado para comprobar la fidelidad de la información. Este método plantea que una zona con cierta homogeneidad meteorológica mostrará valores de precipitación proporcionales en distintos puntos de monitoreo, a pesar de la distancia entre ellos. Esta proporcionalidad puede ser representada de manera gráfica en un sistema de ejes ortogonales ploteando los valores acumulados anuales de precipitación de la estación control versus el valor acumulado anual promedio de otro grupo de estaciones. Es importante que la extensión temporal del registro de las estaciones a comparar sea el mismo. La proporcionalidad entre series temporales quedará demostrada por el ajuste lineal de los datos, caso contrario se generará un cambio de pendiente (Kohler, 1949). Cada gráfico se construyó en base a los datos de la serie histórica 1984-2017, colocando en el eje de ordenadas la precipitación anual acumulada (PAA) de la estación a controlar y en el eje de las abscisas la precipitación media anual acumulada de las demás estaciones. Este último valor se obtuvo promediando las precipitaciones medias anuales de las 3 estaciones restantes a comparar, obteniendo un único valor promedio para cada año de la serie histórica. Luego se realizó la sumatoria de esos valores anuales (unificando precipitaciones medias de las estaciones) para obtener la precipitación media anual acumulada de las estaciones a comparar en toda la serie. No se consideró para esto a la estación Viedma Aero por pertenecer a la misma localidad que la E.E.A. Valle Inferior del Río Negro, pero poseer menor extensión en el registro.

También se obtuvo el promedio de precipitaciones anuales en cada año para las estaciones Bahía Blanca (período 1956-2019), E.E.A. Hilario Ascasubi (período 1966-2019) y Valle Inferior del Río Negro (período 1984-2017); realizándose el mismo procedimiento con los datos pluviométricos de Bahía San Blas (período 1984-2017).

Mediante el cálculo de los valores pluviales anuales para las estaciones Bahía San Blas, Bahía Blanca, E.E.A. Hilario Ascasubi y E.E.A. Valle Inferior del Río Negro, se construyeron los correspondientes diagramas pluviométricos incluyendo en cada uno la sumatoria de la precipitación anual, el promedio de la serie histórica y el promedio móvil quinquenal. Luego se integraron todos los diagramas en un gráfico único para realizar comparaciones de tendencias.

Como siguiente paso, se llevó a cabo un análisis intraanual de la serie pluviométrica 1984-2017 de Bahía San Blas, procediendo al cálculo de la media y la mediana de cada año, ya que este último parámetro demuestra mejor la distribución espacial de las precipitaciones (Scian y Mattio, 1975). Esto se debe a que la mediana es menos sensible que la media a eventos extremos, los cuales son característicos de zonas áridas y semiáridas.

Por otro lado, se analizó la ocurrencia de eventos extremos, a fin de caracterizar esta variable que puede resultar relevante en el funcionamiento hidrológico (Gómez Ríos, 2017). Para ello, se calculó sobre la serie diaria el percentil 95 de los días con precipitación superior a 1 mm, pudiendo representar este valor una lluvia significativa para el sistema climático local, y se excluyó el valor más alto de la serie, según recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 1986).

Del SMN se obtuvieron los valores de la temperatura media mensual, como así también los valores medios mensuales de temperatura mínima y máxima para el período 1956-2019 de Bahía Blanca y 1981-2010 de Viedma. En el caso de los datos provenientes del INTA la información incluye temperatura media mensual, temperatura máxima media mensual y temperatura mínima media mensual. Los datos de la E.E.A. Hilario Ascasubi corresponden al registro 1966-2019 y los de la E.E.A. Valle Inferior del Río Negro a los años comprendidos entre 1965 y 2018. Con el fin de evaluar el comportamiento de la temperatura de la región se elaboraron los termogramas de las estaciones más cercanas a Bahía San Blas. Luego, a partir de las temperaturas medias anuales de la E.E.A. Valle Inferior del Río Negro se analizó la tendencia de la variable térmica.

Para obtener la evapotranspiración se decidió calcularla mediante una técnica empírica. Si bien son numerosos los métodos para estimar la evapotranspiración para este caso se eligió el método Thornthwaite-Mather (1957), debido a que se contaba con datos de temperatura media mensual, los cuales son suficientes para calcular la evapotranspiración potencial (ETP) mediante este método.

Los datos térmicos utilizados pertenecen a la estación Viedma Aero, ya que es la más cercana a la zona de estudio. La metodología propuesta por Thornthwaite-Mather permite calcular la ETP mediante la siguiente fórmula:

$$ETP = 16K (10t/l)^a$$

- K: $(N/12)(d/30)$
N: n° máximo de horas de sol según latitud
d: n° de días del mes
- t: temperatura media diaria del mes (°C)
- l: índice calórico anual: Σi
i: índice calórico mensual: $(t/5)^{1,514}$
- a: $6,75 \times 10^{-9} x l^3 - 771 \times 10^{-7} x l^2 + 1792 \times 10^{-5} x l + 0,49239$

Una vez calculada la ETP, puede obtenerse la evapotranspiración real a partir de relaciones con otros parámetros como la precipitación y la reserva de agua útil del suelo. Al contar con todos los parámetros anteriores ya es posible determinar el Balance Hídrico y la clasificación climática.

A partir de los parámetros calculados vinculados a las variables meteorológicas, se llevó a cabo la determinación del balance hídrico a nivel del suelo a través del método desarrollado por Thornthwaite-Mather (1955), utilizando una capacidad de campo de 25 mm, en base a la textura predominantemente franco-arenosa del suelo. Con estas

estimaciones se pretendió cuantificar los déficits mensuales y evaluar los períodos en que se produce la recarga del sistema.

La clasificación en cuanto al clima se llevó a cabo mediante el sistema propuesto por Köppen y modificado por Geiger (1954). La clasificación de Köppen se desarrolló en 1937, siendo un sistema sumamente empírico (Pastén *et al.*, 2011) que define los climas en base a valores fijos de temperatura y precipitación según los respectivos promedios de orden anual o mensual. También este sistema tiene en cuenta la vegetación autóctona. Con esas premisas, se diferencian cinco grupos subdivididos con respecto a la distribución de la precipitación y el régimen térmico.

En vistas de caracterizar las mareas de la región se trabajó con datos pronosticados para el puerto de Bahía San Blas, facilitados por el Servicio de Hidrografía Naval (SHN) para el período 1986-2021. En base a dicha serie temporal, se calcularon las medias aritméticas de las alturas mensuales y anuales. También se graficaron las alturas mareales para el año de muestreo 2021.

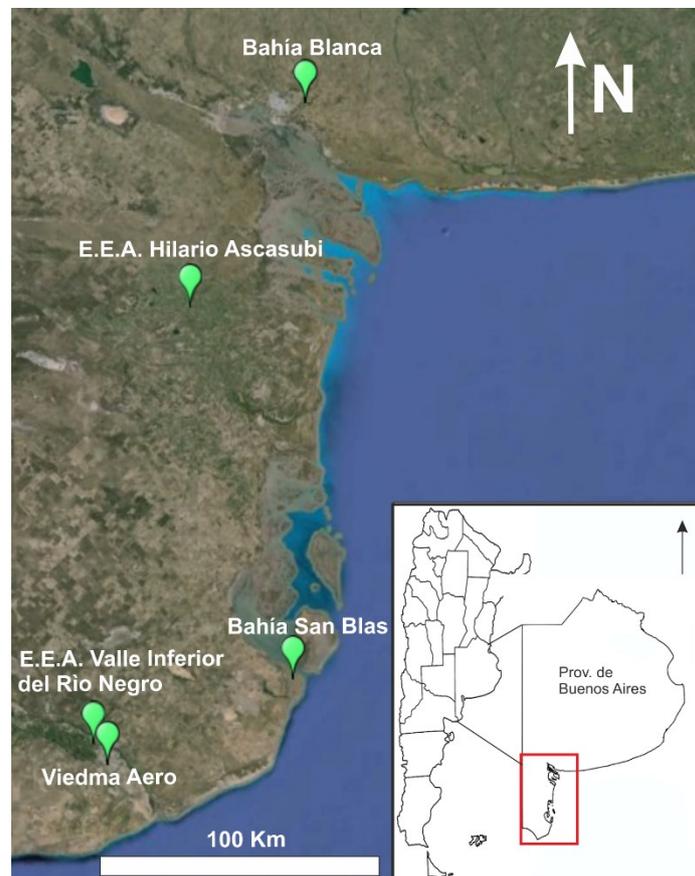


Figura 2.1. Ubicación de las estaciones meteorológicas.

2.3 Resultados

2.3.1. Clima

2.3.1.1 Precipitación

Las fuentes de información pluviométrica contaron con distintas características que se resumen en la tabla 2.1 A partir de tales registros, se realizó un análisis de la misma basado en la extensión, representatividad y garantía de los datos. Al comparar la extensión del registro, la estación Bahía Blanca muestra el registro más largo (44 años), siguiendo en orden decreciente los períodos abarcados por la E.E.A. Hilario Acasubi (43 años), Bahía San Blas y la E.E.A Valle Inferior del Río Negro (34 años) y Viedma Aero (30 años). En orden de cercanía a Bahía San Blas se ubican la estación Viedma Aero (73 km), E.E.A. Valle Inferior del Río Negro (74 km), E.E.A. Hilario Acasubi (132 km) y la estación Bahía Blanca (206 km).

Tabla 2.1. Síntesis de la información meteorológica recopilada. BSB: Bahía San Blas.

Estación	Latitud Sur	Longitud Oeste	Fuente	Registro	Carácter	Distancia a BSB
Bahía San Blas	40°33'13"	62°14'02"	Particular	1984-2017	Modular diaria	-
Bahía Blanca	38°43'3"	62°9'21"	SMN	1956-2019	Modular diaria	206 km
E.E.A. Hilario Acasubi	39°23'32"	62°37'45"	INTA	1966-2019	Modular diaria	132 km
E.E.A. Valle Inferior del Río Negro	40°47'51"	63°03'53"	INTA	1984-2017	Modular diaria	74 km
Viedma Aero	40°51'46"	63°00'19"	SMN	1981-2010	Modular mensual	73 km

Además, se efectuó el análisis doble masa con el objetivo de evaluar la garantía de las estaciones, para lo cual se seleccionaron aquellas que poseían el mejor registro y se utilizaron los datos del período 1984-2017. Para la estación control se utilizaron los valores de precipitación anual acumulada (PAA) y para las 3 estaciones usadas como comparación se promediaron los valores de cada año, construyendo luego una serie de precipitación media anual acumulada conjunta (PMAA). El análisis doble masa aplicado a Bahía San Blas (Figura 2.2) permite apreciar un leve aumento de pendiente en los primeros años comparados, aunque después el comportamiento puede considerarse sin cambios de pendientes significativos, representando un buen ajuste lineal. La estación Bahía Blanca (Figura 2.3) muestra pequeños sobresaltos en la curva, aunque el ajuste general es bueno. También en la Figura 2.4, la E.E.A. Hilario Acasubi muestra un buen ajuste al representar variaciones ínfimas y un pequeño cambio de pendiente hacia el final del período graficado. Por último, el gráfico de la E.E.A. Valle Inferior del Río Negro (Viedma) en la Figura 2.5, denota variaciones leves en la curva, aunque muestra un tramo más recto hacia el final de la serie analizada. De lo anterior, se deduce que las estaciones de Bahía Blanca y de Hilario Acasubi poseen la mejor garantía del registro pluviométrico, lo que no descarta a las demás, puesto que todas demostraron tener registros con una garantía satisfactoria.

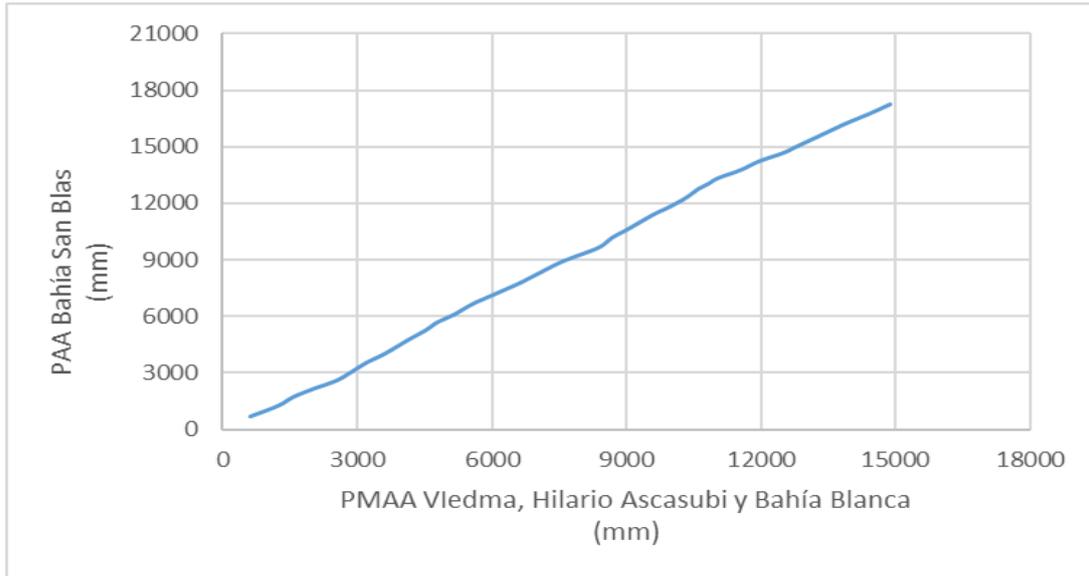


Figura 2.2 Gráfico doble masa para Bahía San Blas (PAA: precipitación anual acumulada y PMAA: precipitación media anual acumulada).

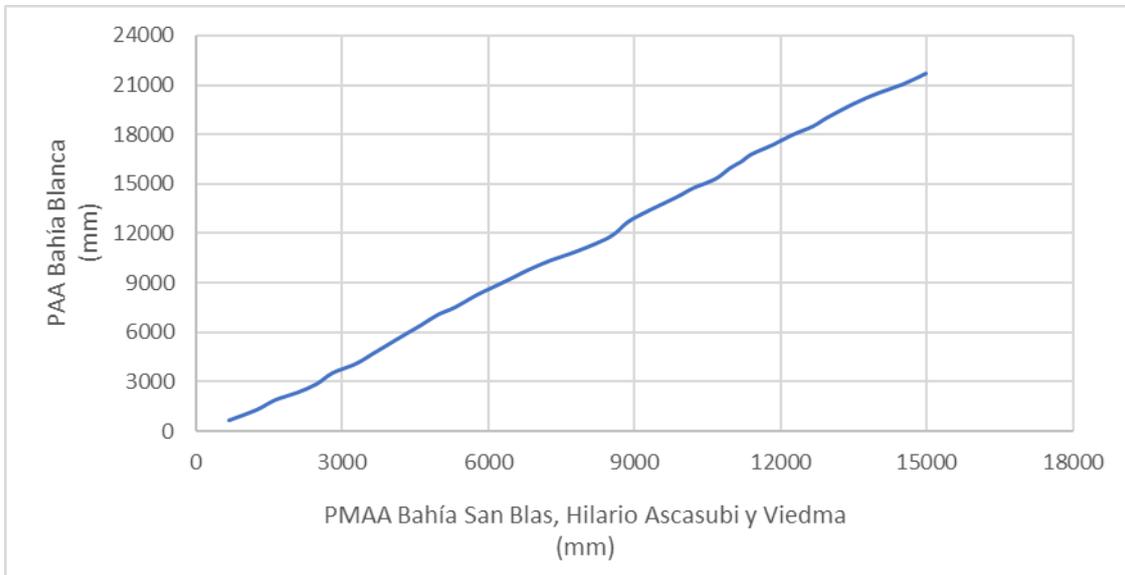


Figura 2.3. Gráfico doble masa para Bahía Blanca (PAA: precipitación anual acumulada y PMAA: precipitación media anual acumulada).

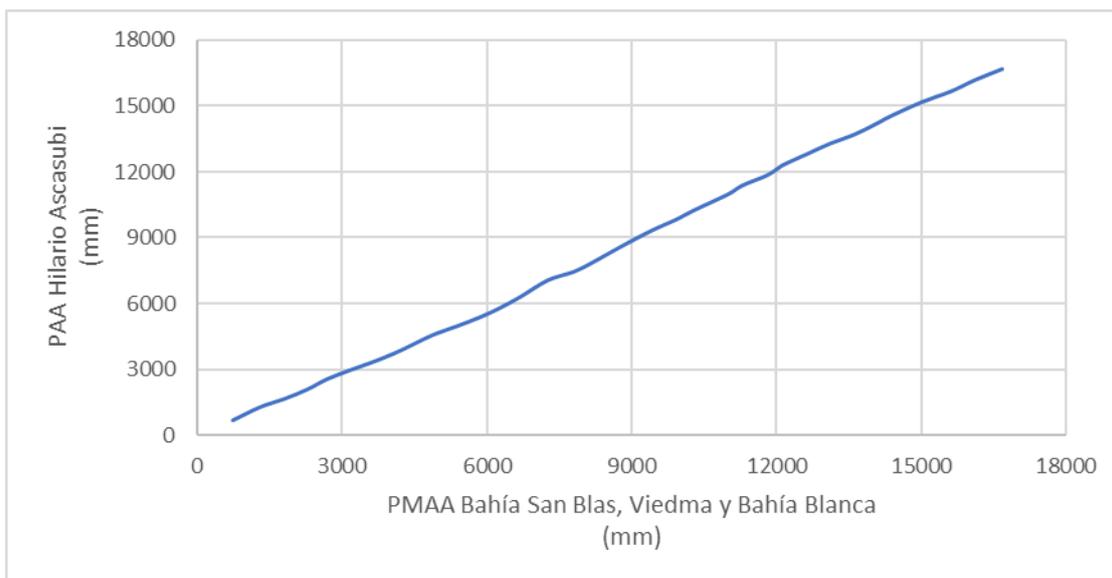


Figura 2.4. Gráfico doble masa para Hilario Ascasubi (PAA: precipitación anual acumulada y PMAA: precipitación media anual acumulada).

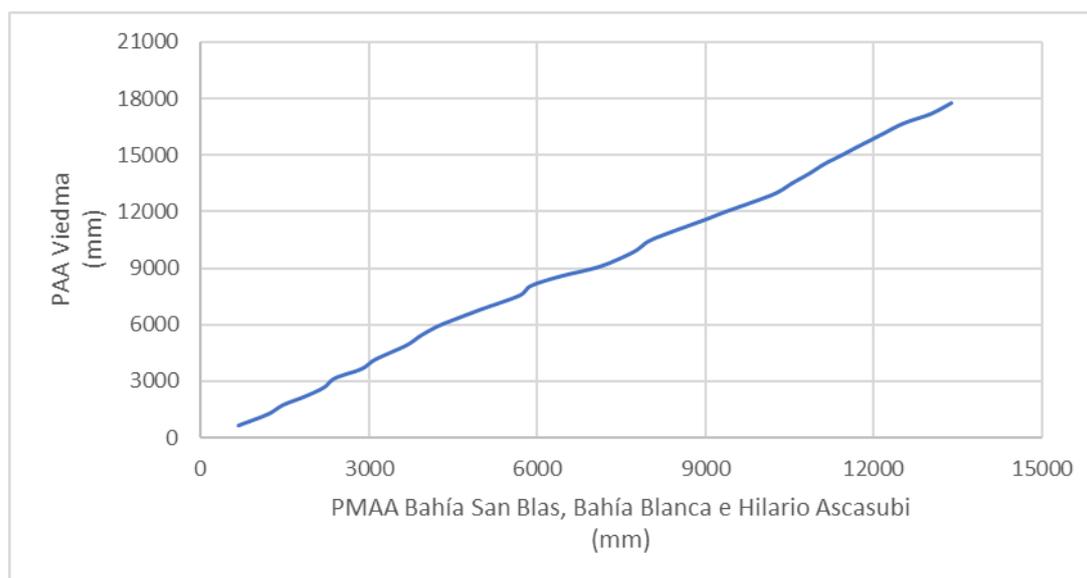


Figura 2.5. Gráfico doble masa para Viedma (PAA: precipitación anual acumulada y PMAA: precipitación media anual acumulada).

Una vez evaluada la extensión, representatividad y garantía de las series temporales, se procedió con el análisis de las tendencias de cada estación. En la Figura 2.6 que representa la serie histórica de precipitaciones de Bahía San Blas, puede observarse que el valor mínimo registrado para el período 1984-2017 es de 220 mm (año 2009) y el máximo 772,5 mm, siendo la media anual del período 437,8 mm. En relación a dicho promedio histórico se reconocen intervalos húmedos (1984-1988, 1997-2001 y 2014-2017) y secos (1989-1996 y 2002-2013).

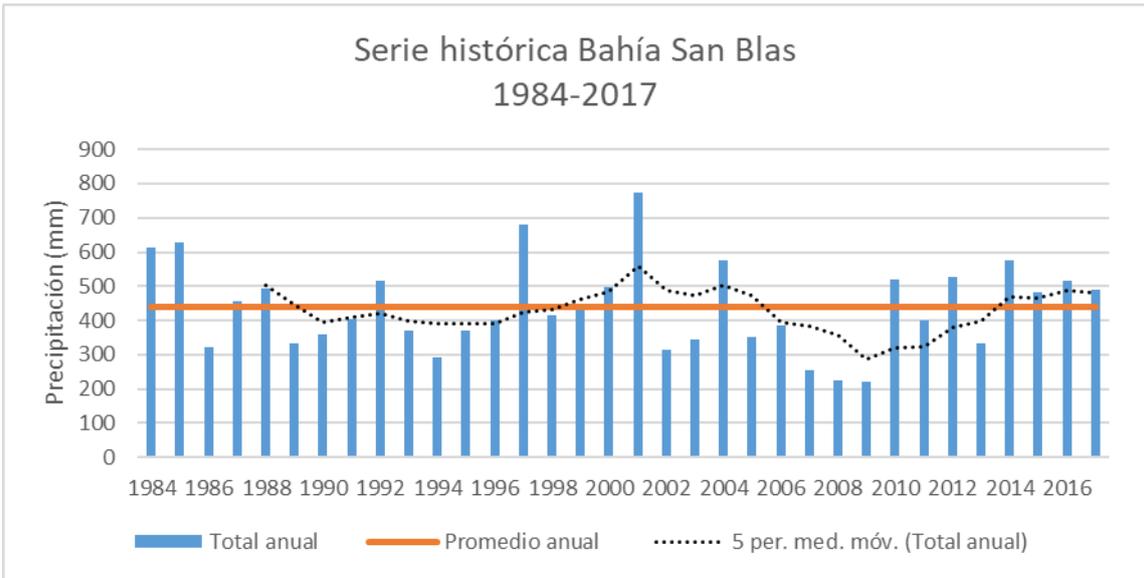


Figura 2.6. Serie pluviométrica de Bahía San Blas.

En la serie histórica de pluviométrica de Bahía Blanca (Figura 2.7) se destaca el último año computado (2019) como el más seco con sólo 311 mm de precipitación y el año 1976 como el de mayor precipitación con 1082,2 mm. A partir de una precipitación histórica promedio de 637 mm, es posible establecer como períodos húmedos aquellos intervalos entre los años 1966-1969, 1975-1985, 1990-1997 y 2001-2004; y como períodos más secos los intervalos 1956-1965, 1970-1974, 1986-1990, 1998-2000 y 2005-2019.

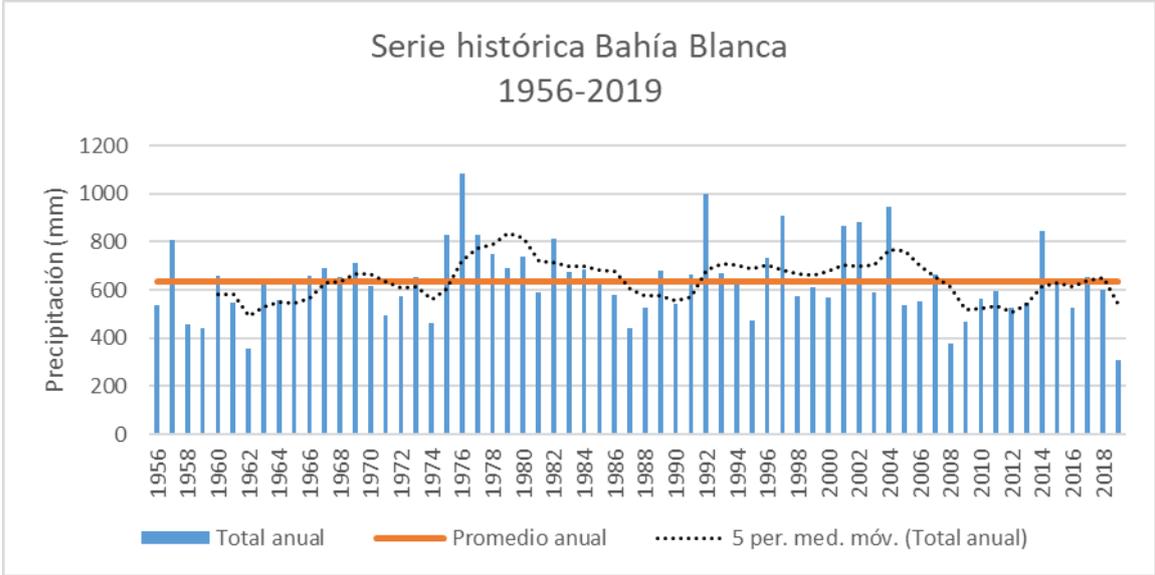


Figura 2.7. Serie pluviométrica de Bahía Blanca.

El gráfico pluviométrico de la E.E.A. Hilario Ascasubi (Figura 2.8) muestra un rango de precipitaciones anuales en el período 1966-2019 entre 252 mm (año 2008) y 732,7 mm (año 1984). Basándose en una media anual histórica de 489,7 mm, los intervalos húmedos corresponden a los años 1967-1970, 1975-1986, 1990-1993, 1997-2004 y

2014-2017; mientras que los secos lo hacen a los años 1966, 1971-1974, 1987-1989, 1994-1996, 2005-2013 y 2018-2019.

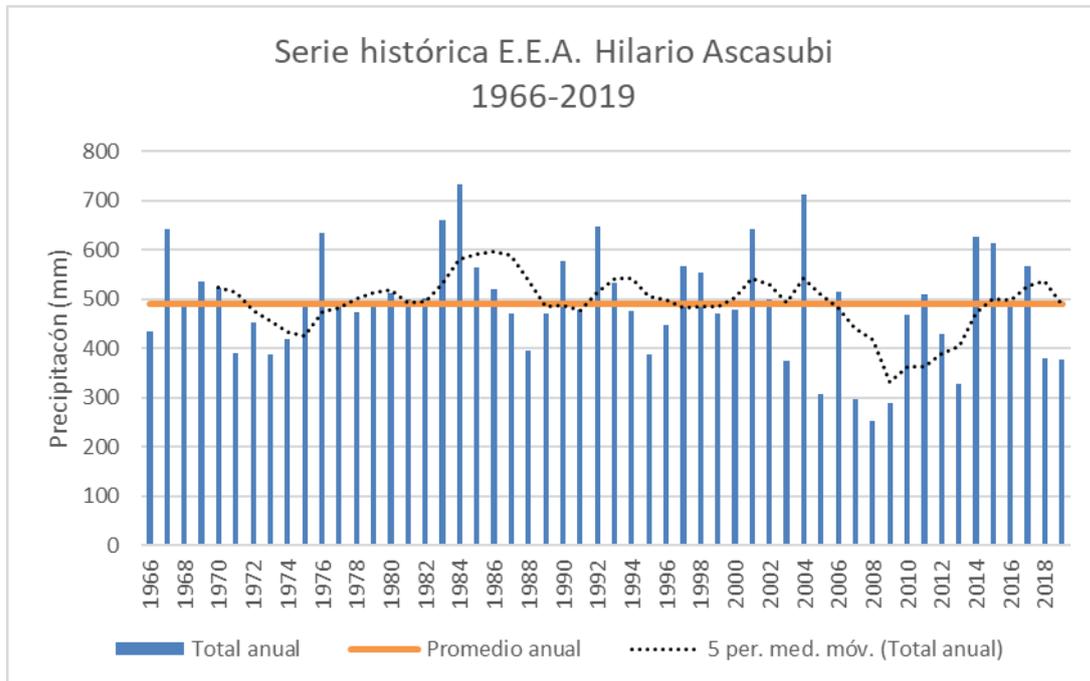


Figura 2.8. Serie pluviométrica de E. E. A. Hilario Ascasubi.

Con respecto a la E.E.A. Valle Inferior del Río Negro, la serie histórica (Figura 2.9) permite apreciar para el período comprendido entre los años 1984 y 2017 un valor mínimo de 165 mm en el año 2009 y uno máximo de 698 mm en el 2000. El promedio anual histórico es de 393,7 mm, distinguiéndose intervalos anuales húmedos (1984-1985, 1996-2001 y 2014-2017) e intervalos secos (1986-1995 y 2002-2013).

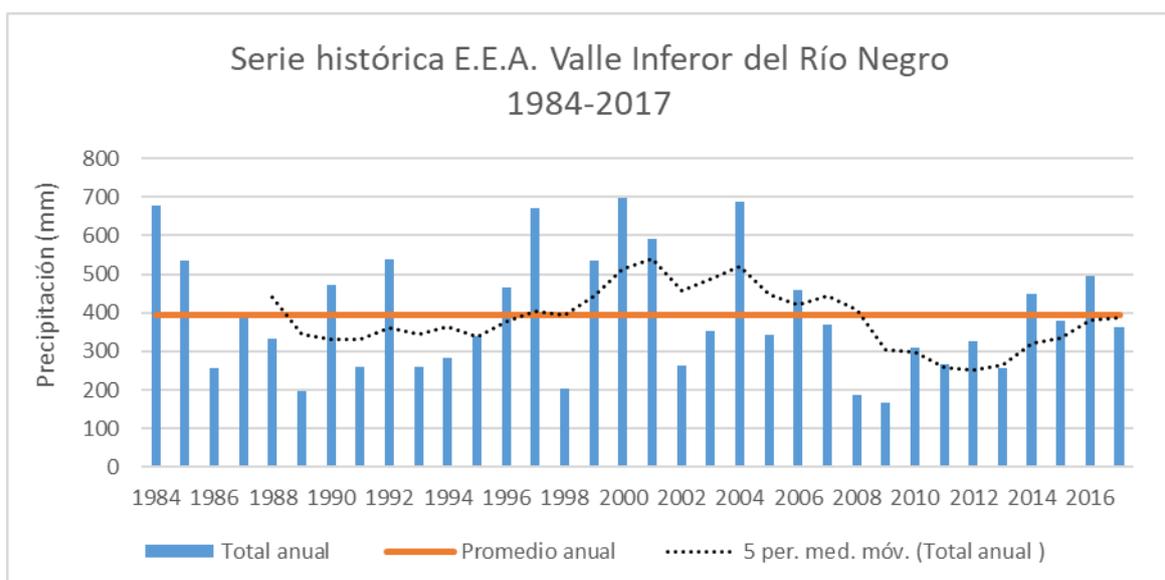


Figura 2.9. Serie pluviométrica de E. E. A. Valle Inferior del Río Negro.

Resulta importante aclarar que, para calificar los intervalos en secos o húmedos, se ha tomado como parámetro la precipitación media anual y la media móvil quinquenal. Por lo tanto, existen intervalos secos en que se han dado años específicos con precipitaciones por encima de la media, como así también intervalos húmedos con algunos años por debajo de la media de precipitación anual.

El gráfico pluviométrico integrado (Figura 2.10) evidencia una variabilidad alta interanual para las precipitaciones totales anuales de todas las estaciones. Los cambios más evidentes se observan en la diferente magnitud de los picos y caídas de las precipitaciones. Sin embargo, se aprecia cierto patrón común de variación entre las estaciones. También resalta del gráfico de la Figura 2.5 que el registro pluviométrico se agrupa mayormente en el rango de 300 a 600 mm/año, encontrándose el valor mínimo en los 165 mm/año (Viedma en 2009) y el máximo en 1001 mm/año (Bahía Blanca en 2001).

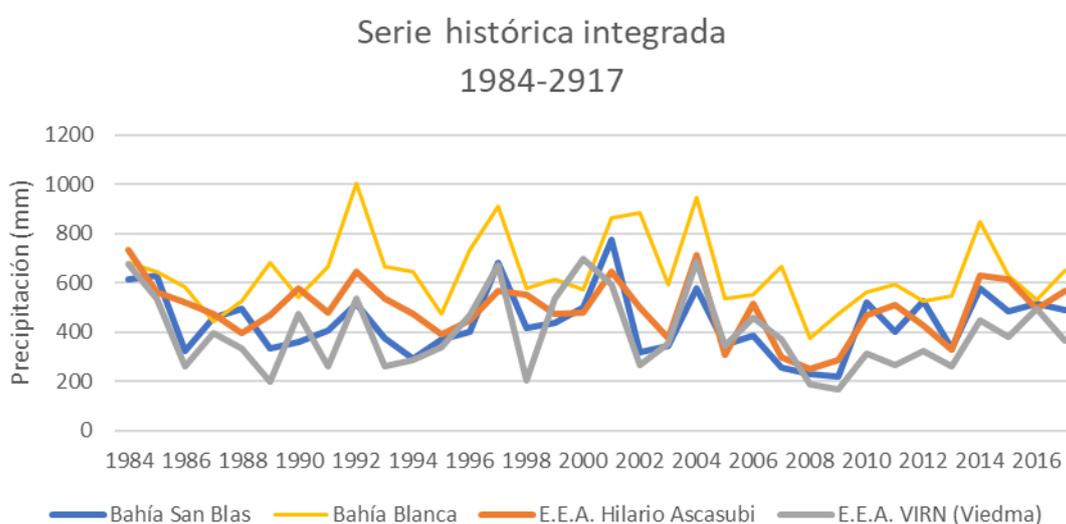


Figura 2.10. Serie histórica pluviométrica de todas las localidades 1984-2017.

Estación Bahía San Blas

Al evaluar las variaciones pluviométricas intraanuales, sólo se consideraron las series de datos correspondientes a la estación Bahía San Blas (Figura 2.11) por ser la única que se encuentra en la zona de estudio.

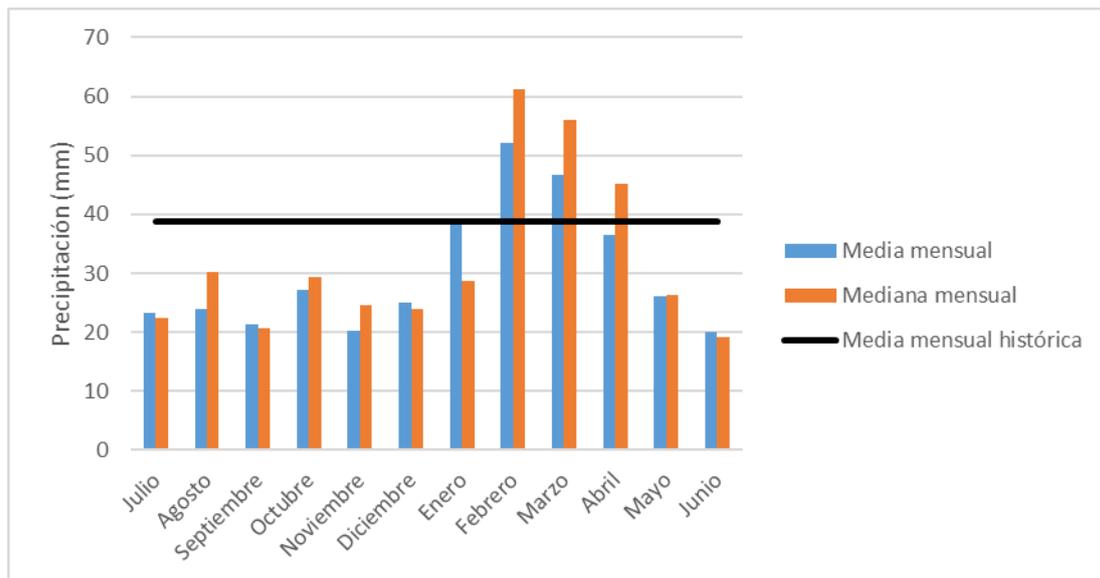


Figura 2.11. Distribución mensual de precipitaciones en Bahía San Blas 1984-2017.

La distribución intraanual de Bahía San Blas permite diferenciar un período lluvioso y uno seco. El primero abarca de febrero a abril con valores en febrero y marzo que llegan a ser más del doble de otros meses, mientras que el período seco está comprendido entre los meses de mayo y enero con las menores precipitaciones en junio, siendo un rasgo característico del Régimen Atlántico. Cabe resaltar que, al analizar el comportamiento pluviométrico del mes de enero a nivel regional, éste forma parte de la estación húmeda. Sin embargo, en este estudio se lo incluye en el período seco, a pesar de superar por poco la media mensual histórica (promedio mensual de precipitaciones considerando todos los meses), ya que es probable que la media de este mes esté influenciada por años puntuales en que llovió excepcionalmente (173,5 mm en enero de 1985 y 142,5 mm en enero de 2016). En este caso particular, queda evidenciada la menor sensibilidad de la mediana ante este tipo de situaciones con respecto a la media y la importancia de considerar efectos climáticos locales.

Eventos extremos

Debido a la variabilidad encontrada en el registro pluviométrico, se procedió a analizar la ocurrencia de fenómenos extremos, puesto que pueden revestir gran importancia en esta zona, debido a su relación con la generación de ondas de tormenta con las consecuentes inundaciones y cambios en la geomorfología local (Stempels Bautista, 2019). Para el análisis se contabilizaron 2142 días con lluvia, de los cuales se consideraron 1686 por ser los que presentaban precipitación superior a 1 mm. Se excluyó el valor mayor de la serie equivalente a 305 mm y se procedió a la obtención del percentil 95, establecido como umbral para calificar a un evento de extremo. El valor umbral resultó ser 31 mm, lo que representa más del triple del promedio diario de cada día que llovió (8,62 mm).

En total existieron 80 eventos que superaron el límite de 31 mm a lo largo de la serie considerada (período 1984-2017), por lo que al dividir la cantidad de eventos por los meses del período se obtiene una recurrencia de aproximadamente 5 meses.

2.3.1.2 Temperatura

La importancia de conocer el comportamiento de esta variable recae fundamentalmente en su implicancia para la clasificación climática de una región y de su importancia en el cálculo de la evapotranspiración. A diferencia de las precipitaciones, para la temperatura no se contó con datos de Bahía San Blas, por lo que se trabajó con los datos de las estaciones más cercanas. Éstas son la estación Viedma Aero del SMN y la E.E.A. Valle Inferior del Río Negro del INTA.

De la información de las estaciones anteriormente nombradas se obtuvieron los datos medios de temperatura (Tabla 2.2). Como puede observarse, los valores de ambas estaciones son muy semejantes, ya que las dos estaciones se encuentran próximas. Dado que las dos series de datos son muy similares, se optó por seleccionar una de las dos estaciones en base a la extensión del registro para realizar los cálculos para la región de Bahía San Blas. Con tal criterio, la E.E.A. Valle Inferior del Río Negro fue seleccionada para describir el comportamiento de la variable térmica.

Tabla 2.2. Datos medios de temperatura de las estaciones meteorológicas más cercanas a Bahía San Blas.

Estación	Período	T media anual	T mínima media anual	T máxima media anual
Viedma Aero	1981-2010	14,2 °C	7,8 °C	22,1 °C
Valle Inferior del Río Negro	1965-2018	14,1 °C	7,9 °C	20,9 °C

En el termograma de la Figura 2.12, es clara la tendencia de las temperaturas medias mínimas y máximas a seguir la variación de la temperatura media a través del ciclo anual. La menor temperatura mínima media corresponde al mes de julio con 2,05 °C y la mayor temperatura máxima media se da en enero con 28,9 °C.

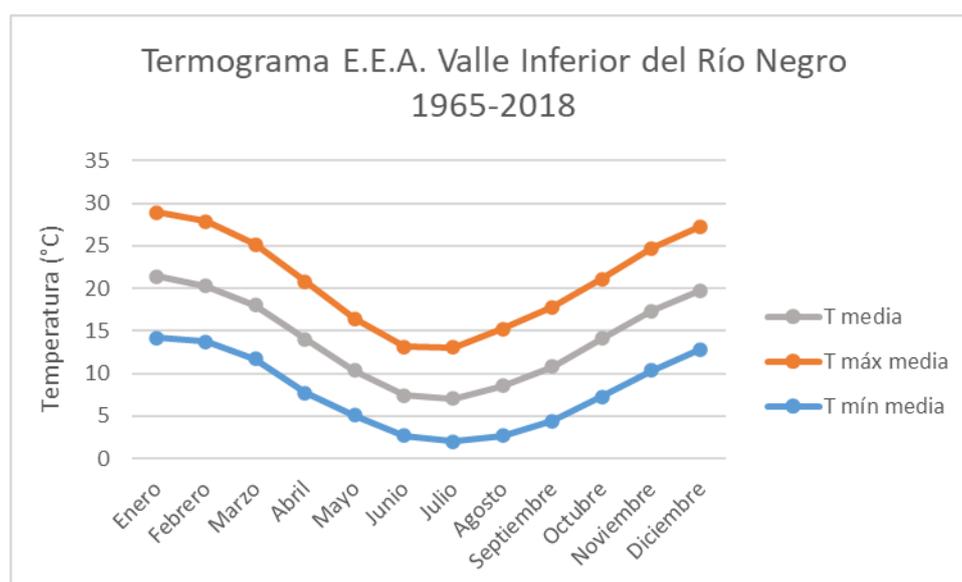


Figura 2.12. Variación de la temperatura de la E.E.A. Valle Inferior del Río Negro en el período 1965-2018. T: temperatura.

A fin de comparar la información térmica disponible se exponen también en las figuras 2.13 y 2.14 los termogramas correspondientes a las otras estaciones de las que se cuenta con datos de temperatura.

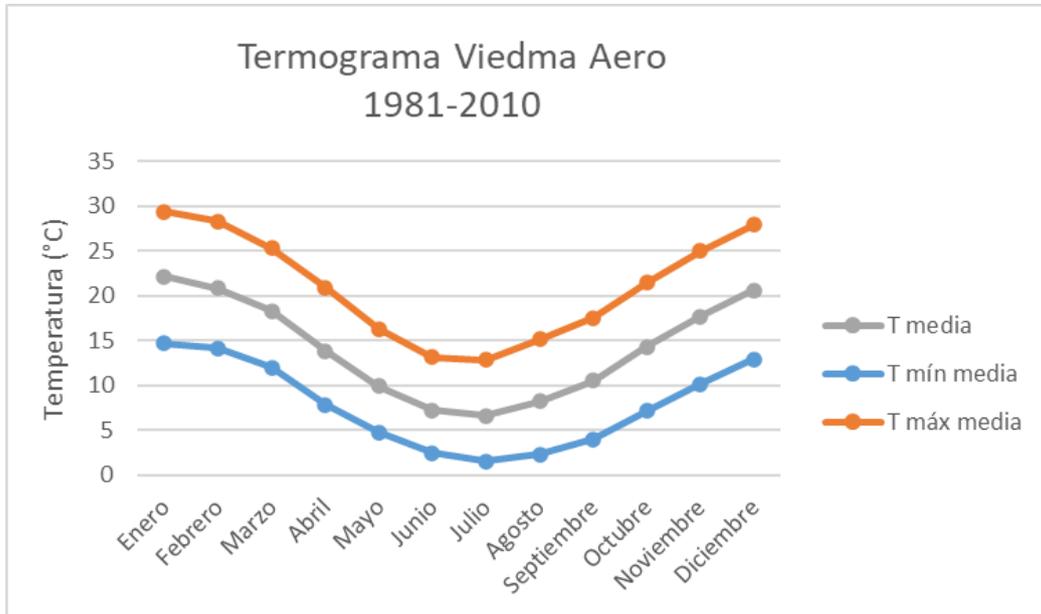


Figura 2.13. Variación de la temperatura de la estación Viedma Aero en el período 1981-2010. T: temperatura.

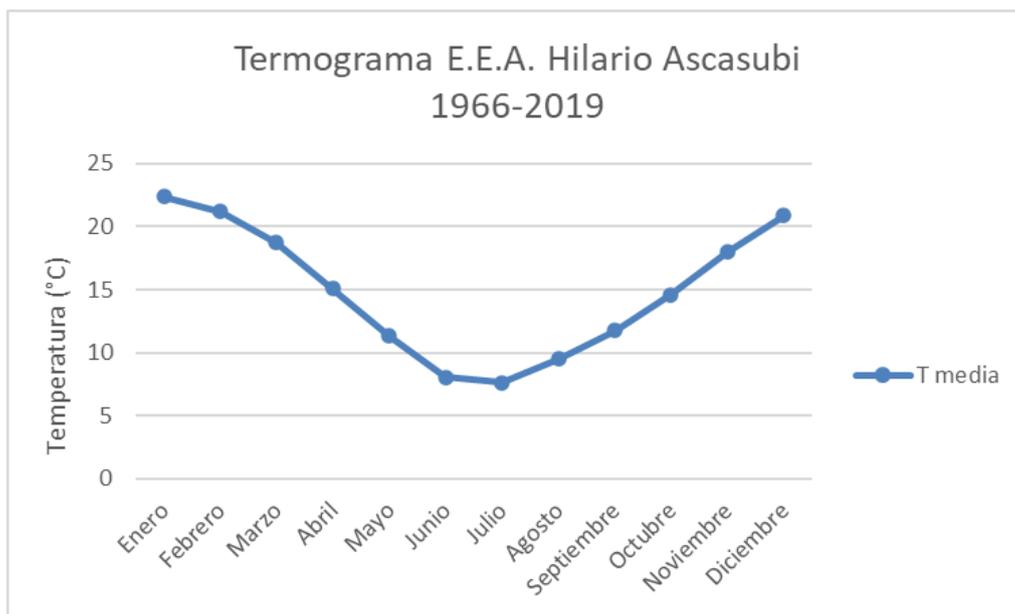


Figura 2.14. Variación de la temperatura de la E.E.A. Hilario Ascasubi en el período 1966-2019. T: temperatura.

Puede apreciarse en la figura 2.13 que la variable térmica en la estación Viedma Aero es coincidente en su variación con la E.E.A. Valle Inferior del Río Negro. La E.E.A. Hilario Ascasubi muestra pequeñas diferencias en relación a la temperatura media como una temperatura entre verano levemente más alta tanto en los meses estivales como en aquellos invernales.

En el gráfico de la Figura 2.15 están representadas las temperaturas medias anuales, cuyos valores evidencian gran variabilidad interanual, aunque, observando la media móvil se corrobora la tendencia al aumento de esta variable durante todo el período analizado, acentuándose en los últimos años.

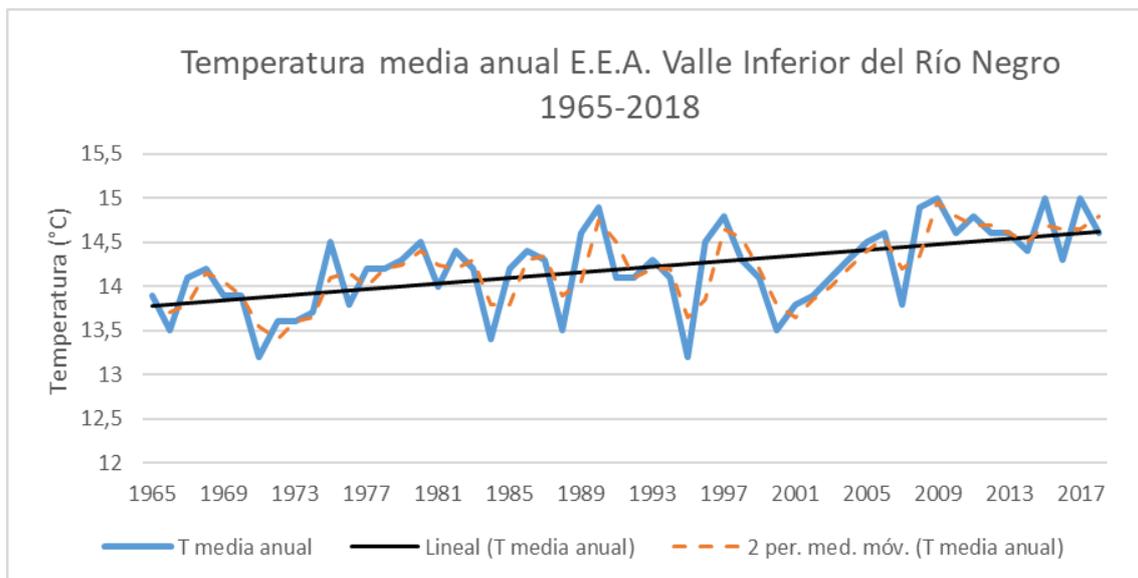


Figura 2.15. Temperaturas medias anuales de la E.E.A. Valle Inferior del Río Negro en el período 1965-2018. T: temperatura.

2.3.1.3 Evapotranspiración

Como se explicó en la sección metodológica, los valores de evapotranspiración fueron estimados indirectamente mediante el método Thornthwaite-Mather (1957), a partir de otros parámetros ya detallados. Los valores de temperatura necesarios fueron obtenidos de la E.E.A. Valle Inferior del Río Negro por poseer un registro termométrico de 54 años (1965-2018).

Con el mencionado método se obtuvieron resultados de 731,1 mm/año de evapotranspiración potencial (ETP), y al comparar la ETP y la precipitación media mensual (Figura 2.16), se observa que la mayor parte del año la ETP supera las precipitaciones medias mensuales, llegando incluso a ser hasta casi 5 veces mayor en el mes de diciembre. En los meses invernales ocurre lo contrario, ya que la menor temperatura deriva en menor ETP, por lo que ésta llega a ser superada por los niveles de precipitaciones.

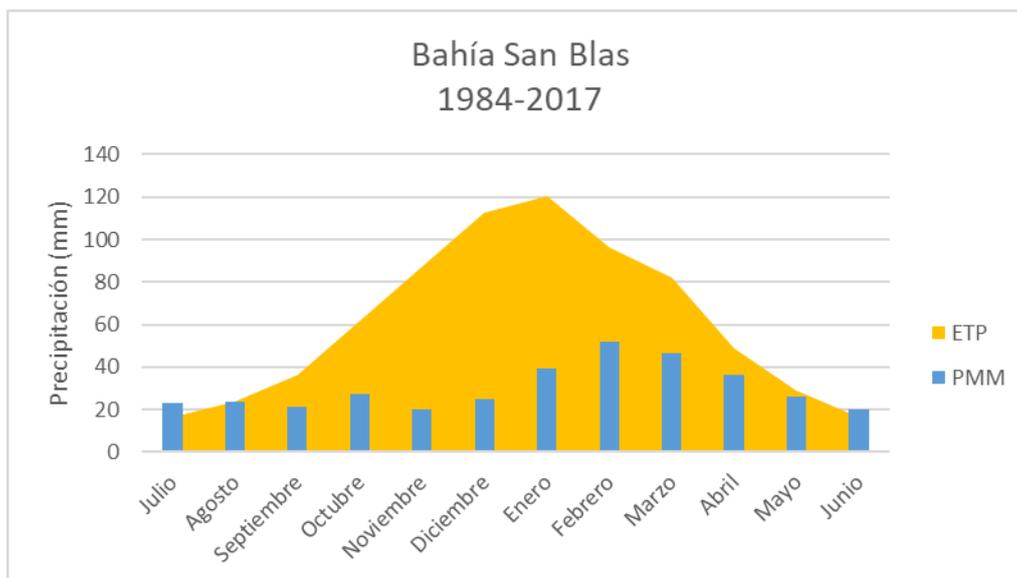


Figura 2.16. Precipitación media mensual (PMM), evapotranspiración potencial (ETP) y evapotranspiración media histórica (ETP media) para la localidad de Bahía San Blas en el período 1984-2017.

2.3.1.4 Balance hídrico

Como se dijo anteriormente, se aplicó el método Thornthwaite-Mather (1957) con el fin de reconocer los déficits en el sistema hídrico de Bahía San Blas y su comportamiento en el ciclo anual. Además, dicho método fue útil para clasificar climáticamente la zona. Es debido aclarar que la temperatura utilizada para los cálculos corresponde a la E.E.A. Valle Inferior del Río Negro por lo dicho en el apartado anterior. Los resultados del Balance Hídrico se muestran en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Balance Hídrico para Bahía San Blas (mm). R: Reserva; Vr: variación mensual de la reserva; ETR: evapotranspiración real; F: falta de agua; EX: exceso de agua; D: Excedente superficial según Mather; I: Excedente infiltrado según Mather.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
T	22,1	20,8	18,3	13,8	9,9	7,2	6,6	8,2	10,5	14,3	17,7	20,6	14,2
i	9,5	8,7	7,1	4,7	2,8	1,7	1,5	2,1	3,1	4,9	6,8	8,5	61,4 (I)
ETP	125,8	99,5	83,3	47,3	27,1	15,5	14,4	21,8	34,4	61,9	89,3	119,1	739,5
P	57,2	65,7	58,9	46,0	32,8	25,2	29,3	30,2	26,8	34,2	25,4	31,6	463,2
P-ETP	-68,6	-33,9	-24,4	-1,3	5,7	9,7	14,9	8,4	-7,6	-27,7	-63,8	-87,6	
R	0,0	0,0	0,0	0,0	5,7	25,0	25,0	25,0	17,4	0,0	0,0	0,0	
Vr	0,0	0,0	0,0	0,0	5,7	19,3	0,0	0,0	-7,6	-17,4	0,0	0,0	
ETR	57,2	65,7	58,9	46,0	27,1	15,5	14,4	21,8	34,4	51,6	25,4	31,6	449,5
F	68,6	33,9	24,4	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,4	63,8	87,6	
EX	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-9,6	14,9	8,4	0,0	0,0	0,0	0,0	13,7
D	43,8	34,3	16,9	12,2	0,7	-4,8	7,5	4,2	0,0	0,0	5,2	31,9	
I	43,8	34,3	16,9	12,2	0,7	-4,8	7,5	4,2	0,0	0,0	5,2	31,9	

$$\text{Déficit} = \text{ETP} - \text{ETR} = 739,5 - 449,5 = 290 \text{ mm}$$

$$P = \text{ETR} + \text{EXC} = 463,2 \text{ mm}$$

Observando la diferencia P-ETP para cada mes, surge que en la mayoría de los meses existe un déficit hídrico, siendo aquellos meses más calurosos (octubre a marzo) los que muestran mejor esta tendencia, la cual se acentúa en diciembre. Por el contrario, los meses más fríos que abarcan de mayo a agosto, son los que muestran excesos de agua, especialmente el mes de julio.

2.3.1.5 Clasificación climática

Bahía San Blas posee un clima patagónico, seco y ventoso (Zalba, 2008), representando una zona de transición entre condiciones más húmedas hacia las localidades más al Norte de la provincia de Buenos Aires y otro clima más árido en dirección Sur hacia la Patagonia (Paoloni, 2010).

Para realizar la clasificación climática se utilizó el sistema de Köppen modificado por Geiger (1954), según el cual la región corresponde a un tipo de clima Bsk: clima semiárido frío. El grupo de climas es el "B", representativo de climas secos, ya que son menores las precipitaciones a la evapotranspiración en el balance anual. El régimen de lluvia es "s" por presentar características semiáridas, típicas de estepa, entendida ésta como un semidesierto con clima frío. En cuanto al régimen térmico, se asignó el subíndice "k", lo que implica condiciones frías con temperaturas medias anuales menores a 18°C.

2.3.2 Mareas

La región de Bahía San Blas carece de cursos fluviales, por lo que la hidrología superficial queda supeditada a cursos mareales alimentados desde el canal San Blas que baña las costas orientales de la Isla Jabalí. El canal de marea principal es el canal Jabalí que en su tramo distal se bifurca hacia el Oeste en otros canales (Walker y del Guanaco) y hacia el Este inundando la zona de Paso Seco.

El régimen de marea es mixto preponderantemente semidiurno con una amplitud media de 1,62 m (SHN, 2022). El rango de mareas se ubica en el límite micromareal-mesomareal. La altura de olas en bajamar es de 0,1 m y el período de 9 segundos, lo que da cuenta de la entrada de olas oceánicas a la bahía (Isla y Bertola, 2003). Sin embargo, los vientos fuertes comunes en la región pueden modificar las alturas y horarios de las mareas (Beigt *et al.*, 2009).

En el canal San Blas la altura de marea promedio mensual para el período 1986-2021 es de 0,59 msnm y el promedio anual es 1,39 msnm. A lo largo del año 2021 se observa una típica variación sinusoidal correspondiente a cambios estacionales, de manera que en los meses de junio-julio y diciembre-enero se dan alturas extremas con 0,02 m de altura mínima y 2,55 m de altura máxima (Figura 2.17).

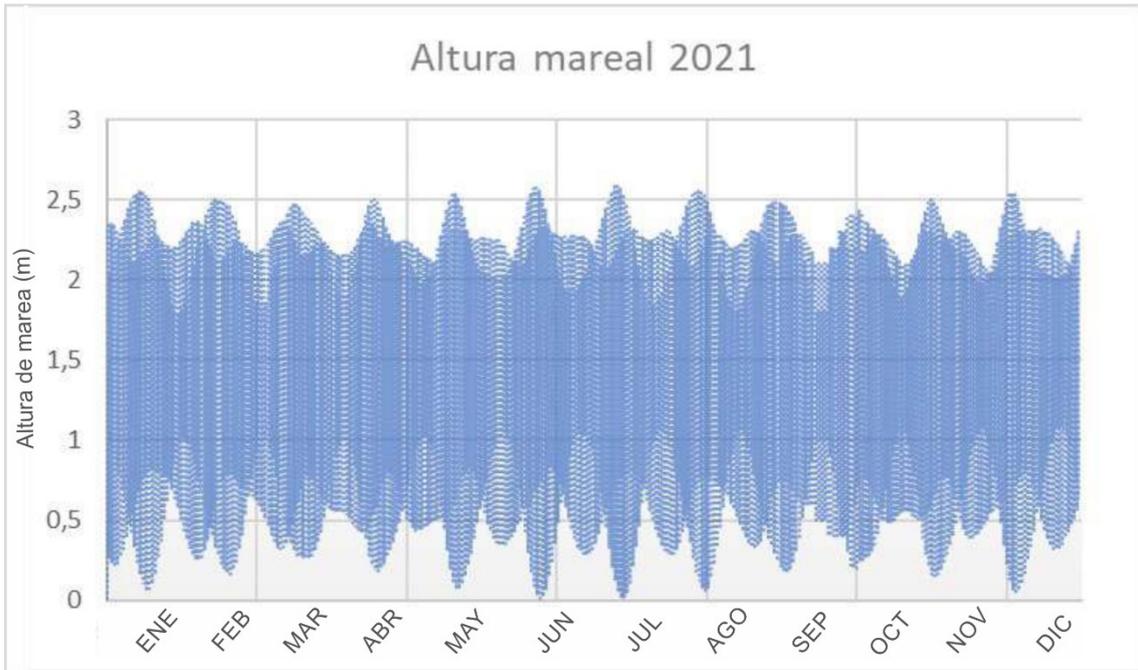


Figura 2.17. Alturas de marea para el año 2021.

3. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

3.1 Introducción

La geología comprende una herramienta indispensable en la comprensión del funcionamiento hidrogeológico de un área, ya que a partir de la información geológica de subsuelo puede conocerse si existen rasgos que afectan al flujo subterráneo, como así también la disposición y composición de las litologías que conforman los acuíferos.

A escala regional, la zona de estudio forma parte de la provincia geológica Llanura Chaco-Pampeana, más precisamente el sector Sur, en el ámbito de la Cuenca del Colorado (Russo, 1979). El conocimiento geológico de subsuelo de Bahía San Blas y alrededores es escaso, aunque existe una batería de perforaciones en la cuenca, a partir de la que se reconstruyó la historia tectónica y se conocieron las unidades estratigráficas. La Cuenca sedimentaria del Colorado está ubicada en el sector más austral de la Llanura Chaco-Pampeana, desarrollándose en territorio bonaerense al Sur del Sistema de Ventania (Figura. 3.1a). Se formó en el comienzo de la etapa de *rift*, previo a la apertura del océano Atlántico, a partir del Jurásico Medio-Cretácico Temprano, cuando se sucedieron movimientos extensionales en la zona Sudoeste de Gondwana (Rabinowitz y LeBrecque, 1979; Tankard *et al.*, 1995).

A escala local, la geología de superficie que se relaciona directamente con el humedal en el área estudiada, presenta escasos antecedentes. Específicamente, esta investigación plantea en base a la información geológica preexistente, generar nuevos aportes desde el mapeo y descripción de unidades geomorfológicas, a fin de reconocer variables que condicionan las características geohidrológicas del humedal.

3.2 Metodología

La descripción del contexto geológico se realizó a partir de la recopilación bibliográfica de antecedentes de diversos campos como la tectónica, la sedimentología y la estratigrafía de la cuenca del Colorado donde se ubica la zona de estudio. A la hora de describir la geología regional, se priorizó realizar una síntesis de la evolución de la cuenca del Colorado y las unidades litoestratigráficas existentes, evitando entrar en detalle sobre discusiones relacionadas a edades, nomenclatura, litología o reconstrucción paleoambiental. La estratigrafía puntual de Bahía San Blas, fue realizada priorizando aquellas investigaciones cuya área de estudio incluyó específicamente a la región nombrada, recurriendo a otras que incluían otros lugares con unidades equivalentes a fin de esclarecer las relaciones estratigráficas.

En cuanto a la geomorfología, las unidades que resultaban conflictivas en su descripción y origen, pudieron ser identificadas en base a las fuentes bibliográficas. Recursos fundamentales fueron las Hojas Geológicas 39m y 40m, Viedma y la 39n, Isla San Blas relevadas por Franchi (1977); como así también las Hojas Geológicas 4163-II/IV

y I/III, Viedma y General Conesa a escala 1:250000 publicadas por el SEGEMAR con autoría de Etcheverría *et al.* (2006).

También se elaboró un modelo digital de elevación (MDE) a partir de imágenes ASTER GDEM con una resolución de 41 metros. El procesamiento de las imágenes satelitales se llevó a cabo con el software de licencia libre QGIS 3.10.6 (QGIS, 2020). A lo anterior, se sumaron observaciones de detalle en Google Earth y trabajos de campo que ayudaron a definir las unidades geomorfológicas que posteriormente fueron plasmadas en el mapa geomorfológico.

3.3 Marco geológico regional

3.3.1 Tectónica y estratigrafía regional

La evolución tectónica de la cuenca puede resumirse en una etapa de *rift* dividida en dos grandes eventos, seguida por una de *sag* y terminando con una de margen pasivo (Figura 3.1b). La etapa de *rift* comenzó hace 175-137 Ma (Jurásico Medio-Cretácico Temprano) con grandes fallamientos y relleno clástico fluvial y de lutitas lacustres que conforman el basamento de la Cuenca sedimentaria del Colorado (Ramos, 1999). Tales unidades sedimentarias son equivalentes al Devónico (Grupo Ventana) y al Carbonífero-Pérmico (Formación Tunas) del Sistema de Ventania (Faulkner, 2000). Entre los 137-131 Ma (Cretácico Inferior) ocurrió un segundo evento extensional cambiando el patrón de fallamiento, pasando de ser NO-SE a NE-SO con un gran volcanismo asociado (Gerster *et al.*, 2011). Durante el avance del proceso tensional en el Jurásico Superior-Cretácico Inferior se producen las grandes extrusiones del Grupo Serra Geral que cubren la cuenca, como así también las vecinas (Yrigoyen, 1999).

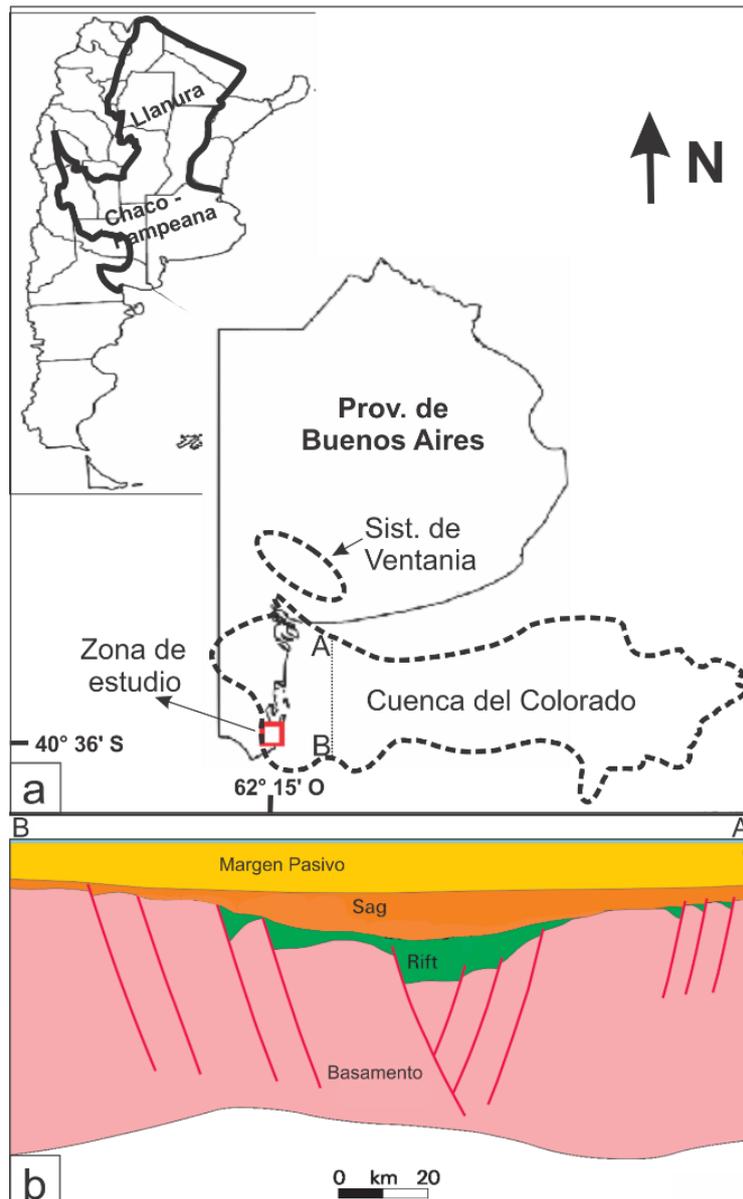


Figura 3.1. a. Ubicación de la Cuenca sedimentaria del Colorado y la zona de estudio. b. Esquema tectónico de la cuenca (modificado de Gerster *et al.*, 2011).

Al atenuarse los esfuerzos extensionales en el Cretácico Inferior, se da la etapa de relleno de la cuenca (*sag*) con la Formación Fortín reconocida por Kaasschieter (1963) y compuesta por conglomerados, areniscas y fangolitas. Esta unidad es seguida por la Formación Colorado que incluye areniscas aluviales (Yrigoyen, 1975; Casadío *et al.*, 1999, 2000) con más de 4000 m de espesor. Estos depósitos predominantemente continentales, se apoyan en discordancia angular sobre aquellos de la etapa de relleno de fosa (*rift*) (Yrigoyen, 1999).

Desde el final del Cretácico hasta el Terciario, inicia la etapa de margen pasivo y sólo se registran pequeñas reactivaciones del fallamiento extensional por variaciones en los grados de compactación de los sedimentos más finos (Juan *et al.*, 1996). El inicio de la fase de margen pasivo está representado por una gran transgresión entre el Maastrichtiano y el Daniano, denominándose los sedimentos que la componen Formación Pedro Luro, la cual se define fundamentalmente por la presencia de arcilitas

de ambiente profundo (Gerster *et al.*, 2011). A este episodio transgresivo le sigue un período de marcada erosión durante el Eoceno (Raggio *et al.*, 2011).

Una particularidad de la Cuenca sedimentaria del Colorado es que sobre los depósitos transgresivos existen registros de tobas y coladas basálticas de hasta 380 m de espesor nombrados como Formación Ranquel, con edad Paleocena (Lesta *et al.*, 1979). Continúa la sedimentación con las Formaciones Ombuctá-Elvira, mostrando una transición desde depósitos deltaicos y marinos hasta completamente marinos, siendo su edad Eocena tardía-Oligocena temprana (Yrigoyen, 1975). En discordancia, aparece la Formación Barrancas Final del Mioceno medio-tardío (Parras *et al.*, 2000) descripta como sedimentitas arenosas finas a arcillosas con tobas y calizas intercaladas, correspondiendo a un ambiente somero en el sector occidental de la cuenca y a un ambiente cada vez más profundo hacia el sector oriental (Malumián 1970; Malumián *et al.*, 1998). Suprayace a la formación anterior una secuencia del intervalo Mioceno tardío-Plioceno temprano formada por areniscas grises de origen continental con intercalaciones más finas, cuyas denominaciones más comunes son Formación Río Negro (Andreis, 1965) y Formación Belén (Kaaschieter, 1965). En la Figura 3.2 se muestra una columna cronoestratigráfica con las unidades principales, de modo que sirva como apoyo para comprender la cronología de la evolución tectónica y estratigráfica de la cuenca.

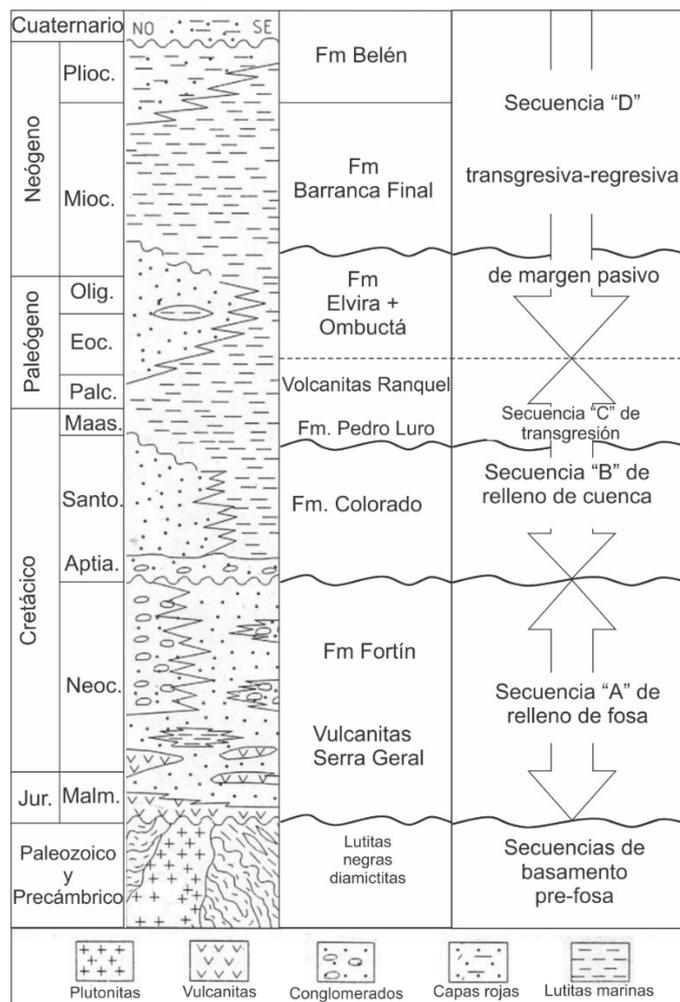


Figura 3.2. Columna cronoestratigráfica de la Cuenca del Colorado (modificado de Yrigoyen, 1999).

En el tope de la secuencia se reconocen unidades del Pleistoceno y Holoceno con gran extensión areal (Etcheverría *et al.*, 2006), las cuales predominan en la zona de estudio de este trabajo y constituyen las principales geoformas de Bahía San Blas, por lo que serán tratadas en detalle en los correspondientes apartados. De todas maneras, en la Tabla 3.1 se presentan a modo de resumen tanto las unidades que componen el Cuaternario, como las de los períodos anteriores.

Tabla 3.1. Esquema estratigráfico de la Cuenca del Colorado (modificado de Etcheverría *et al.*, 2006)

Edad	Unidad litoestratigráfica	Litología	Ambiente	Etapas tectónicas
Holoceno	Dep. marinos, fluviales, eólicos y de bajos	Arenas, gravas y limos	Marino, fluvial, eólico y lacustre	Margen pasivo
Mc - Plioc	Fm. Río Negro/Belén	Areniscas	Fluvial	
Mioceno	Fm. Barrancas Final	Limolitas y areniscas	Marino somero	
Eoc - Olig	Fm. Ombuctá - Elvira	Areniscas y lutitas	Deltaico-marino	
Paleoc	Fm. Ranquel	Tobas y basaltos	Volcánico	
K - Paleóg	Fm. Pedro Luro	Arcilitas	Marino profundo	
K Sup	Fm. Colorado	Areniscas	Aluvial	Relleno (<i>sag</i>)
K Inf	Fm. Fortín	Conglom., areniscas y fangolitas	Fluvial-lacustre	Fosa (<i>rift</i>)
J - K	Gr. Serra Geral	Vulcanitas	Volcánico	Pre-fosa (<i>pre-rift</i>)
Cb -Pm	Fm. Tunas	Areniscas y pelitas	Costero-deltaico	
Dv Sup	Gr. Ventana	Conglom., cuarcitas y areniscas	Plataforma estable	

3.3.2 Estratigrafía de Bahía San Blas y zonas aledañas

Las unidades más antiguas aflorantes en la región pertenecen al Neógeno, representando éstas solo la porción terminal de las descritas para la Cuenca sedimentaria del Colorado. Para facilitar la lectura, se provee una tabla síntesis de las unidades descritas al final del apartado (Tabla 3.2).

Tabla 3.2. Esquema estratigráfico de Bahía San Blas.

Edad	Unidad litoestratigráfica	Litología predominante	Ambiente
Reciente	Depósitos evaporíticos	Arcillas y sales	Marino
	Depósitos eólicos modernos	Arenas	Eólico
	Depósitos marinos modernos	Gravas, arenas y limos	Marino
MIS 1	MIS 1	Conglomerados y arenas	
Ptc - Hol	Depósitos loésicos	Arenas finas	Eólico
MIS 5e	MIS 5e	Conglomerados y limos	Marino
¿MIS 9?	Posible MIS 9	Conglomerados	
Plei tem - med	Rodados Patagónicos	Conglomerados	Fluvio-glacial
Mc - Plio	Fm. Río Negro/Belén	Areniscas	Fluvial
Mc med - tard	Fm. Barranca Final	Limolitas y areniscas	Marino somero

NEÓGENO

Mioceno medio-tardío

La **Formación Barranca Final** constituye la unidad neógena de mayor edad de la región de interés, constituida por sedimentitas marinas. Witte (1916) cita observaciones puntuales de areniscas ferruginosas y calcíticas con igual malacofauna que los estratos terciarios del Paraná por lo que les asigna el nombre de “Piso Entrerriano” y una edad entre el Mioceno y el Plioceno inferior. Una de esas observaciones la realiza en los alrededores del pueblo de Bahía San Blas, lo cual sería relevante, ya que el “Piso Entrerriano” es equivalente a la Formación Barranca Final de Kaasschieter (1963) y no vuelven a aparecer afloramientos en esta región en la bibliografía. Todas las demás observaciones, incluso su localidad tipo, se hallan en cercanías al río Negro, especialmente en la provincia homónima. La Formación Barranca Final es parte de una gran transgresión que ocurrió en la Patagonia en el Oligoceno tardío, correspondiendo a la segunda de las dos etapas que componen dicho evento transgresivo, según Malumián (1998).

Mioceno tardío-Plioceno temprano

Afloramientos menos controversiales son aquellos de areniscas de proveniencia continental denominadas tanto **Formación Río Negro** como **Formación Belén**. Quien las describió primeramente fue D’Orbigny (1842) como “*grès azuré*” (“arenisca azulada”) y luego Roth (1898) como “arenisca del Río Negro”. Ambos autores concuerdan en que tales areniscas son de coloración gris clara a azulada, se encuentran por encima de estratos marinos, son de origen continental y poseen una estratificación falsa o transversal. Witte (1916) atribuye la estratificación a una depositación en ambiente medanoso, agrega que existen tanto niveles arcillosos fluviales como de calizas dendríticas que derivan del agua infiltrada, y las ubica en el “Piso Rionegrense”. Angelelli

y Chaar (1964) usan el nombre de “formación Rionegrense” y hablan de areniscas muy friables con abundantes líticos de rocas basálticas.

Andreis (1965) y Kaaschieter (1965) proponen la nomenclatura más utilizada actualmente: Formación Río Negro y Formación Belén, respectivamente. El primero hizo análisis sedimentológicos de detalle en las barrancas del río Negro, y el segundo estudió en general la cuenca del Colorado; y, si bien ninguno se centró en la región objetivo de este trabajo, fueron incluidos por la vigencia de sus denominaciones. De hecho, Trebino (1987) menciona afloramientos parciales de la Fm. Belén en el sector norte del salitral del Barrancoso asignándole edad Pliocena; mientras que Weiler (2000) reconoce en un perfil al Oeste del “arroyo” Jabalí a la Fm. Río Negro como arenas grises con limos cementados por tosca. También Cábana *et al.* (2005) nombran a la Fm. Río Negro para caracterizar el sustrato de áreas mineralizadas del litoral atlántico bonaerense. Finalmente, Fucks *et al.* (2012) vuelven a hacer mención de la Fm. Río Negro como la unidad basal a nivel regional.

Esta unidad fue encontrada al Oeste del canal Jabalí en una excavación para captación de agua subterránea en la estancia La Serranita (Figura 3.4). En el perfil de 1,5 m la Fm. Río Negro presenta estratificación planar fina, coloración gris pardo y niveles cementados por carbonatos, cuya presencia aumenta en profundidad.



Figura 3.4. Perfil descrito al Oeste del canal Jabalí donde se observa bajo la línea punteada a la Fm. Belén/Río Negro con estratificación y rasgos de cementación carbonática.

CUATERNARIO

En este período se destaca el primer estudio geológico específico del área de estudio llevado a cabo por Witte (1916), quien propuso el primer modelo estratigráfico con sus respectivas divisiones. Sin embargo, en este trabajo se ha intentado buscar una equivalencia entre las diferentes denominaciones y la nomenclatura actualmente más

utilizada referida a los estadios isotópicos marinos (MIS), la cual se incluye en la tabla 3.2.

Pleistoceno Temprano-Pleistoceno Medio

En este período se encuentran los Rodados Patagónicos, habiendo sido Darwin (1846) quien llevó a cabo las primeras descripciones nombrándolos así y llamando la atención sobre su composición mayormente volcánica. Witte (1916) es quien los identifica por primera vez en el Valle Inferior del río Negro, asociándolos a una transgresión.

Franchi (1977) detalla que son conglomerados con clastos de hasta 5 cm derivados de vulcanitas y piroclastitas con matriz arenosa fina. Tales características concuerdan con las enunciadas por Trebino (1987) que añade que el origen de los conglomerados es múltiple, lo cual es especificado por Weiler (2000) quien comenta que son aportados por el río Negro y desde los acantilados cercanos.

Cábana *et al.* (2005) hablan de gravas que subyacen a depósitos de 8000-6000 años AP, formando cordones por concentración mediante acción marina. Fucks *et al.* (2012), plantean que parte de estos depósitos encontrados a unos 30-40 msnm podrían correlacionarse con una de las ingresiones más antiguas registradas en el sur de la provincia de Buenos Aires, pudiendo pertenecer en ese caso al Estadío Isotópico Marino (MIS por sus siglas en inglés) 11. Sin embargo, las evidencias marinas halladas por Fucks *et al.* (2012), se encuentran en sectores alejados del área de estudio de este trabajo, en la cual no se encontraron signos de acción marina en estos depósitos. Por lo tanto, en este trabajo se utilizará la nomenclatura de “**Rodados Patagónicos**” para referirse a estos depósitos psefíticos (Tabla 3.2).

Pleistoceno Medio-Pleistoceno Tardío

Los rodados de áreas elevadas de la zona litoral que se ubican a una altura entre 8 y 15 msnm con abundantes fósiles y restos de la Fm. Río Negro, serían equivalentes al nivel de conglomerados cementados por material calcáreo que Trebino (1987) diferencia como el más antiguo entre los 12 y 14 msnm. Cabe resaltar que este último autor reconoce tres niveles de terrazas diferenciados en altimetría y edad relativa. A su vez, podrían pertenecer a una ingesión ocurrida durante el Pleistoceno Medio, según Fucks *et al.* (2012), para quienes cronoestratigráficamente corresponden a posibles depósitos del MIS 9. A futuro estos depósitos se considerarán como “**Posible MIS 9**”, ya que fueron asignados a dicho MIS mediante criterios geológicos-geomorfológicos, pero aún no se han realizado dataciones que lo comprueben.

Pleistoceno Tardío

Witte (1916) destaca bancos marinos costeros y de pedregullo en la Isla Jabalí, siendo los constituyentes principales de ésta, y que delimitan antiguas líneas de costa. En coincidencia, Trebino (1987) acusa observaciones de crestas de playa al Oeste del “arroyo” Jabalí y, basándose en dataciones, las considera del Pleistoceno Superior al

igual que lo hicieron Rutter *et al.* (1989) con los depósitos que estudiaron en la misma zona. Por su parte, Fucks *et al.* (2011), quienes además incluyen ciertos rodados clasto o matriz soportados con abundante fauna marina fósil y capas homogéneas de granulometría limosa, atribuyen todo al **MIS 5e**. En el actual trabajo se seguirá la denominación de los últimos autores con fundamento en una publicación ulterior que amplía las correlaciones de estos depósitos con otros estudiados en la llanura pampeana (Fucks *et al.*, 2012) y porque se adecúa a la nomenclatura moderna de la estratigrafía del Cuaternario.

En tareas de campo los depósitos del MIS 5e fueron descritos a una cota de 8 msnm, en dos secciones pertenecientes al corte de un camino cercano a la estancia La Serrana, una sección con vista al Oeste y otra al Este. En la primera sección se aprecia un tramo inicial de suelo arenoso con gravas, advirtiéndose hacia el piso un aumento del contenido de gravas y gran concentración de carbonatos, generando una estructura reticular (Figura 3.5a). En la parte inferior de esta sección el sedimento se vuelve un conglomerado matriz-sostén con estratificación entrecruzada de bajo ángulo y alternancia con capas de arena fina, lo cual puede distinguirse más notoriamente en la sección con vista al Oeste (Figura 3.5b). El contenido de valvas de moluscos en las dos secciones es alto, encontrándose tanto fragmentadas como enteras.



Figura 3.5. Perfil con depósitos del MIS 5e al Oeste del canal Jabalí. a. Sección con vista al Oeste. b. Sección con vista al Este.

Pleistoceno Tardío-Holoceno

Sobre las planicies continentales se desarrollan capas eólicas con una fracción fina pulverulenta (Witte, 1916), los que fueron llamados “sedimentos loessoides” por Franchi (1977) quien añade limos a su composición litológica y los observa cubriendo la Fm. Río Negro y los Rodados Patagónicos. Este último autor los cataloga como Holocenos, lo que se contrapone a la edad Pleistocena que les adjudica Trebino (1987), denominándolos “arenas edafizadas de antiguos médanos” y argumentando su origen eólico por su similitud con médanos longitudinales, su granulometría y nivel de selección

y su composición mineralógica. Weiler (2000) interpreta de igual forma 2 m de arena fina con incipiente edafización a 2,5 km al Norte de Punta Rubia Falsa.

El área de proveniencia del *loess* distribuido en el Sudeste de la provincia de Buenos Aires podría ser de las planicies aluviales de los ríos Negro y Colorado por su deflación durante el Pleistoceno tardío-Holoceno (Zárate y Blasis, 1993). Etcheverría *et al.* (2006) apoyan tal edad basándose en las relaciones estratigráficas y resaltan la importancia de los “**Depósitos loésicos**” para la región por ser el material parental de los suelos con potencial productivo. Se adoptará de aquí en adelante en este trabajo la última nomenclatura propuesta.

Holoceno

En las relaciones estratigráficas del Valle Inferior del río Negro, Witte (1916) discrimina depósitos compuestos por arena, grava y brechas de la Fm. Río Negro dispersos por la costa. A estos depósitos los reconoce Franchi (1977) en la costa atlántica y en cercanía al “arroyo” del Guanaco como playas de arenas que varían su tonalidad según el contenido de opacos y gravas en la parte más alta. Dicho autor, aclara que cerca al pueblo de Bahía San Blas las gravas forman cordones paralelos a la línea de costa. Para Trebino (1987) la disposición de los “rodados y gravas de cordones holocenos” le da al paisaje una forma ondulada, presentan espesores medios de 8 a 10 m y su edad fue establecida por dataciones de ^{14}C en restos de conchillas (5370 a 4100 años AP) y criterios sedimentológicos. También nuevas edades de aproximadamente 5000 años AP obtenidas en arenas del puente de Bahía San Blas (Espinosa e Isla, 2011) han permitido su asignación al Holoceno. Además, Etcheverría *et al.* (2006), a partir de afloramientos en la Isla Jabalí y en el Rincón de Walker, realizan una correlación entre esta unidad y la ingresión holocena con apoyo en restos de conchillas. En este sentido, cabe destacar que otros autores diferencian además dos facies: la arenosa inferior y la gravosa superior, que en conjunto son situadas en el **MIS 1** (Fucks *et al.*, 2011; 2012). La facie gravosa fue observada en la Isla Jabalí en una cantera ubicada a una cota de 9 m, convirtiéndola en el punto más alto de la isla, donde presenta estructura entrecruzada de bajo ángulo. Como rasgos distintivos poseen escaso desarrollo de suelo, poca cementación y baja proporción de restos conchiles y de arena, lo que genera una textura clasto sostén (Figura 3.6). En lo que resta de la presente contribución, se respetará la última ubicación cronoestratigráfica citada.



Figura 3.6. Perfil con depósitos del MIS 1 en la Isla Jabalí.

Los depósitos más modernos son actuales del mar (rodados y arenas) y los sedimentos limo-fangosos de depresiones y canales mareales. Angelelli y Chaar (1964) citan la presencia de rodados redepositados en el Reciente; así como Franchi (1977) se refiere a “sedimentos finos de San Blas” dispuestos en los canales de marea y “sedimentos de lagunas y salitrales” como limos y arenas finas de los salitrales Grande y del Barrancoso que actualmente continúan depositándose. Por su parte, Trebino (1987) dentro del Holoceno diferencia “arenas de playa” al sur de la baliza de La Ballena y “depósitos limo arcillosos de canales y planicies de marea” de los canales de marea conocidos como “arroyos” Walker, Guanaco y del Jabalí. Otros autores como Cábana *et al.* (2005) mencionan los cordones costeros de grava de las playas modernas, resaltando de éstas también sus arenas enriquecidas en minerales ferrotitaníferos. Siguiendo la misma línea, Etcheverría *et al.* (2006) describen “depósitos arenosos marinos” con minerales pesados y que forman playas y espigas. Por otro lado, también incluyen en la porción más actual a depósitos de arenas y limos marinos antiguos en los alrededores de los “arroyos” Jabalí y Walker; y similares depósitos más modernos en el rincón del Guanaco, en la ribera del “arroyo” Jabalí y la costa de la isla homónima. A modo de abarcar las diferentes litologías transportadas por el mar incluso en la actualidad, se las agrupará como “**Depósitos marinos modernos**”, los cuales serán mostrados en el siguiente apartado de la sección “Geomorfología”.

También franjas arenosas en forma de médanos se destacan en la literatura distinguiendo entre los médanos fijos y móviles (Witte, 1916; Franchi, 1977; Etcheverría *et al.*, 2006). Las arenas constituyentes de origen eólico son de grano fino a muy fino y, al igual que las de playas, han despertado interés desde hace décadas por su alto contenido en minerales de hierro, titanio y circonio (Angelelli y Chaar, 1964; Angelelli y Chaar, 1967; Cábana *et al.*, 2005). Si bien los dos tipos de médanos pertenecen al

Holoceno, existe consenso en que los médanos móviles litorales (Figura 3.9) son más actuales que aquellos inmovilizados por la vegetación (Trebino, 1987; Rutter, 1989; Cuadrado *et al.*, 2010; Espinosa e Isla, 2011). Sin embargo, las arenas constituyentes de ambos tipos de médanos serán llamadas “**Depósitos eólicos modernos**” con el objetivo de simplificar futuras citas a los mismos.

Por último, es necesario mencionar lo que Witte (1916) llamó “tierras salitrosas”, compuestas por arcilla poco plástica recubierta de sales, cuya ubicación únicamente se da en las depresiones formando los salitrales y salinas. El citado autor afirma que el origen de estos sedimentos es marino basado en cuatro aspectos: restos de conchillas encontrados en salitrales; presencia, debajo de la capa superficial de otros salitrales, de una capa de arena igual a la depositada por el mar actualmente; y la cantidad de sal presente. Sin embargo, Franchi (1977) se refiere a evaporitas, sobre todo cloruro de sodio, explicando la proveniencia de sales en función del ascenso por capilaridad. El mismo origen proponen Bernasconi y Cangioli (1978) para las demás acumulaciones salinas.

Por su parte, Trebino (1987) describe como “depósitos de ‘salinas’ y ‘salitrales’” a aquellos compuestos por sales de cloruro de sodio, yeso y sulfatos alcalinos, acompañados por arena fina y limo. Etcheverría *et al.* (2006) agrupan en los “**Depósitos evaporíticos**” a arcillas blancuzcas y rosadas, cloruros y sulfatos que yacen en el lecho de los bajos, a los cuales vincula con un origen marino. En lugar de adoptar una forma nueva de nombrar estos depósitos, se ha decidido mantener la utilizada por los últimos autores citados.

3.4 Geomorfología

En la región de Bahía San Blas y alrededores, el tipo de costa es retrogradante, como se verifica a partir de la estratigrafía anteriormente descrita en combinación con los rasgos geomorfológicos, entre los que prevalecen ampliamente los asociados a procesos marinos, tomando importancia los vinculados a procesos eólicos en ciertos puntos y existiendo también zonas donde la geomorfología muestra combinación de ambos procesos. Por lo anterior, es posible distinguir geoformas según el agente geomorfológico predominante, diferenciando a su vez entre aquellas acumulativas y erosivas. En el mapa geomorfológico de la Figura 3.7 se sintetiza la información de las mayores unidades reconocidas, destacándose la extensión de la planicie mareal actual que conforma un gran humedal costero, siendo el objeto de estudio de esta investigación. Cabe destacar que en el humedal desarrollado en torno al Canal Jabalí y otros cursos menores, se distinguieron subunidades cuya descripción detallada se encuentra al final del capítulo.

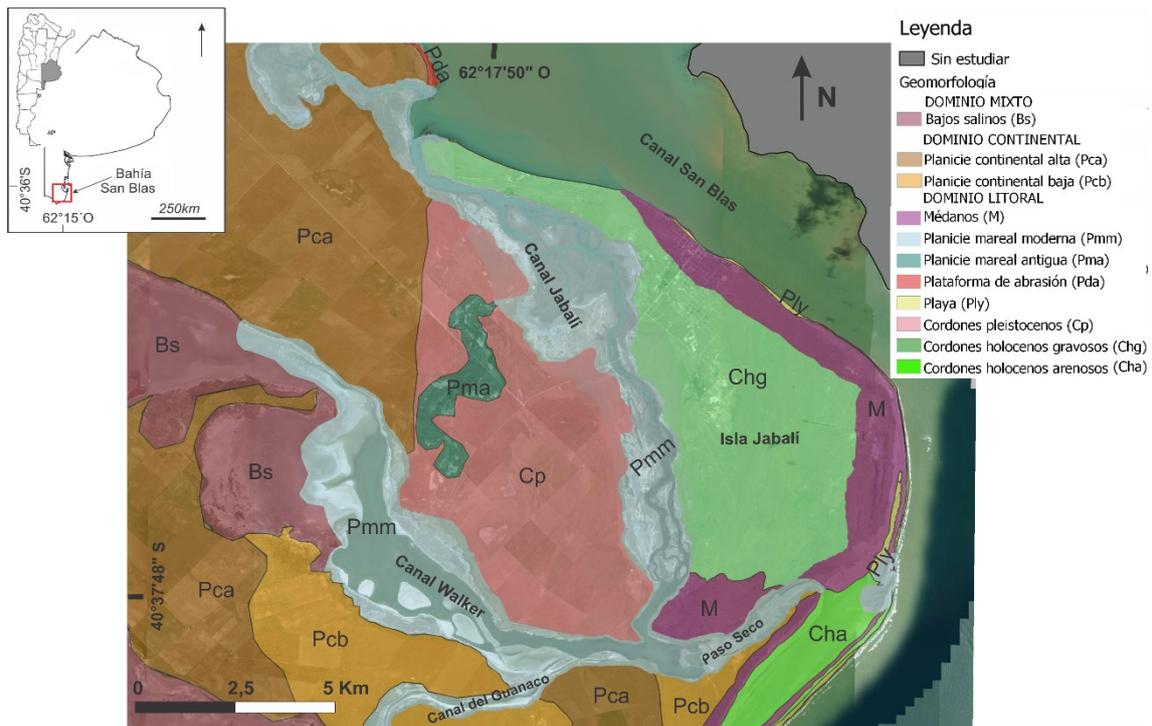


Figura 3.7. Mapa geomorfológico mostrando las mayores unidades geomorfológicas de Bahía San Blas y alrededores.

La posición topográfica de las unidades depositacionales es un recurso valioso para establecer la cronología relativa de sedimentación. Debido a que el MDE construido fue una herramienta clave para el reconocimiento de las distintas unidades geomorfológicas, en la Figura 3.8 se presenta una lámina con detalle de aquellas unidades reconocibles en el MDE.

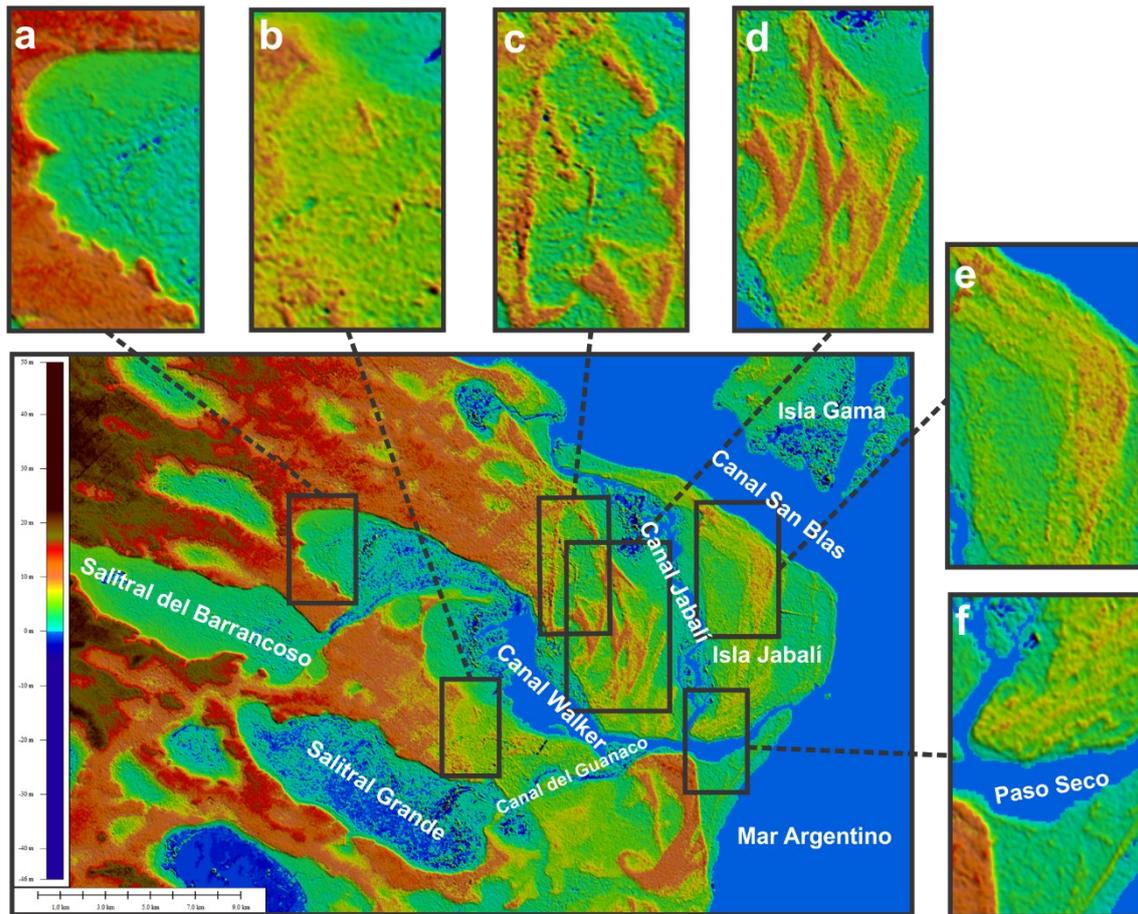


Figura 3.8. Modelo Digital de Elevación (MDE) con detalle de algunas unidades geomorfológicas. a. Planicie continental alta bordeando un Bajo salino. b. Pasaje de la Planicie continental alta a la baja. c. Planicie mareal antigua atravesando los Cordones antiguos limitados por la Planicie continental alta. d. Cordones pleistocenos. e. Cordones holocenos gravosos. f. Médanos sobre la unidad anterior en la Isla Jabalí y sobre la Planicie continental baja hacia el Sur.

3.4.1 Dominio mixto

- Bajos salinos (Bs)

Son depresiones que en la mayoría de los casos están rodeadas por barrancas de hasta 15 msnm, pertenecientes a las planicies continentales (Figura 3.8a), mientras que al Este se conectan con las planicies mareales modernas. A partir de la observación de imágenes satelitales se aprecia su morfología alargada, similar a una elipse, superando los 10 km en su eje más largo y los 5 km en el más corto, con cotas mínimas de 5 m bajo el nivel del mar y su eje mayor en dirección Este-Oeste.

En cuanto a su origen, se han formulado diversas posibilidades siendo aún motivo de discusión. Witte (1916) las interpreta como antiguas depresiones submarinas, aunque Frenguelli (1957) combina la preexistencia de rasgos tectónicos con la acción

eólica. Por su parte, Panza (1995) propone una conjunción de procesos como canalización primaria, erosión pluvial y fluvial, meteorización y una acentuada deflación.

Dado que probablemente hayan actuado diversos factores para generar estas geoformas, en el presente trabajo se las cataloga como de ambiente mixto. A la vez, es posible que su origen esté asociado a procesos erosivos, pero actualmente se depositan en estos bajos sedimentos finos y minerales evaporíticos. Es consensuado que el Salitral Grande y el del Barrancoso reciben aportes desde los actuales canales de marea (Trebino, 1987), lo cual podría suceder durante las mareas extraordinarias según observaciones de imágenes satelitales.

3.4.2 Dominio continental

- Planicies continentales

Son geoformas depositacionales delineadas por una escarpa erosiva que tiene distinta altura dependiendo del nivel de la planicie. Estas planicies son importantes desde el punto de vista geomorfológico, ya que se ubican a diferentes alturas con respecto al nivel del mar actual. Si bien los procesos que resaltan en superficie son de ambiente continental, no se descarta la posibilidad de que estén enmascarando depósitos de origen marino.

Se identificaron dos niveles que previamente fueron descritos por Trebino (1987), estando conformados mayormente por rodados superpuestos a la Fm. Río Negro y de origen múltiple. Los rodados muestran signos de meteorización avanzada como el entoscamiento que recubre los granos. Infrayacen a una capa loésica que suavizó el relieve y cuyo espesor aumenta hacia el Este (Etcheverría *et al.*, 2006).

- *Planicie continental alta (Pca)*

Muestra mayor expresión hacia el Oeste, aunque también se la reconoce al Sur de la región de interés. También marca abruptamente el límite occidental de los cordones antiguos e incluso compone las barrancas que bordean completamente el Salitral del Barrancoso (Figura 3.8a). En la parte Sur linda con el siguiente nivel de planicie continental y con la planicie mareal del canal del Guanaco. La escarpa de erosión que la caracteriza la posiciona unos 10 a 15 msnm según el MED y en la zona estudiada se desarrolla por más de 14 km a lo ancho.

- *Planicie continental baja (Pcb)*

Mucho menos desarrollada que la anterior, la altura que presenta es de entre 5 y 8 msnm según el MED, concentrándose en el sector Sur donde, por la presencia de la Planicie continental alta, denota un paisaje escalonado hasta el canal del Guanaco (Figura 3.8b). Hacia el SE se encuentra cubierta por una franja de médanos que la separan de los cordones litorales arenosos.

3.4.3 Dominio litoral

Se concentra en el Este del área de estudio, mostrando geofomas tanto erosivas como acumulativas, predominando estas últimas. Los procesos depositacionales originaron gran variedad de formas por la acción del viento y el mar, sobresaliendo el agente marino como modelador del paisaje (Figura 3.9).

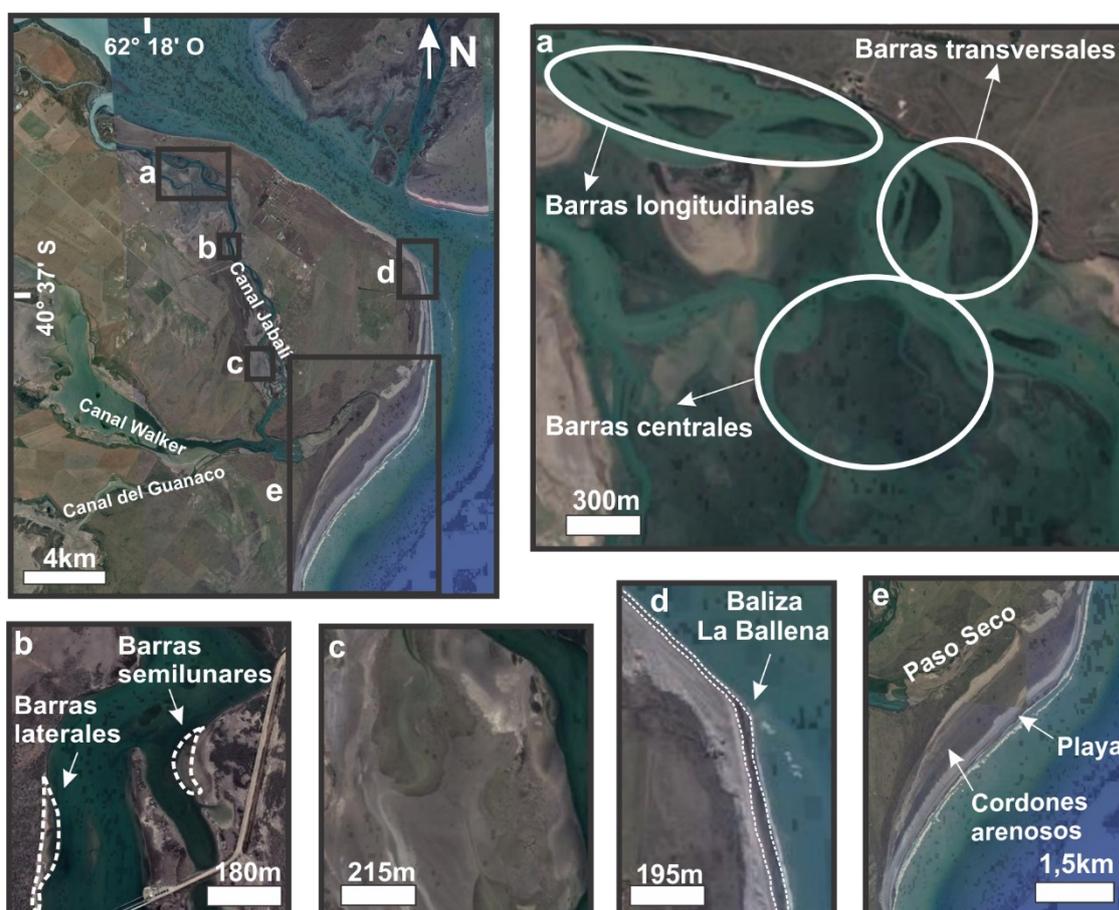


Figura 3.9. a, b y c. Subunidades de la Planicie mareal moderna: distintos tipos de Barras arenosas (a y b) y Planicie fangosa (c). d. Ensanchamiento de la Playa hacia el Sur. e. Cordones holocenos arenosos y Playas al Sur de la Isla Jabalí.

GEOFORMAS EROSIVAS

- *Plataforma de abrasión (Pda)*

En la porción Norte del área estudiada y en cercanía a la boca del canal Jabalí, el nivel de la Planicie continental alta engloba una porción de planicie mareal que luego da lugar a una plataforma de abrasión de dimensiones máximas observadas de 150 m y mínimas de 40 m (Figura 3.10). Dicha plataforma, posiblemente sea producto de la erosión de las areniscas de la Fm. Río Negro (Etcheverría *et al.*, 2006) por la exposición al oleaje. Se

encuentra además acantilados asociados a estas plataformas, presentando alturas de hasta 5 m y estando labrados también en los sedimentos terciarios.

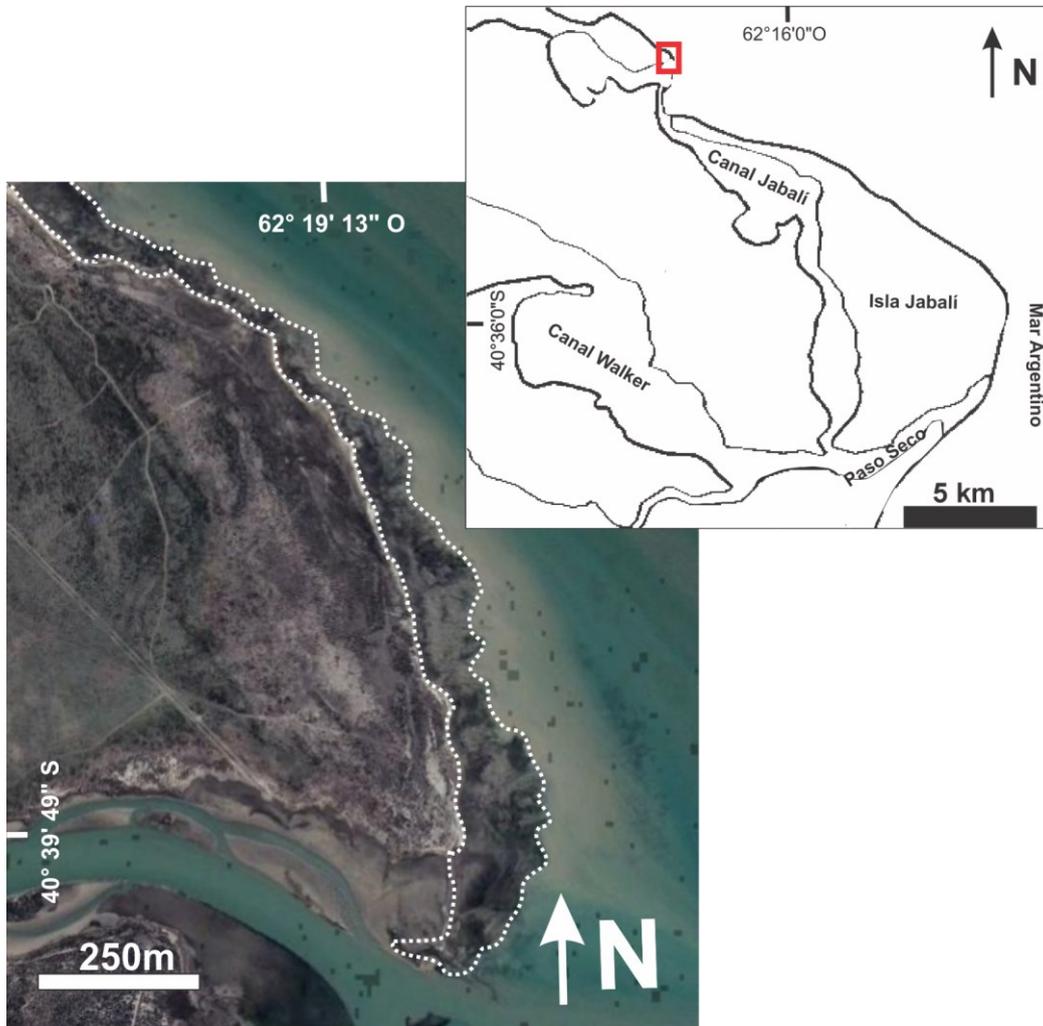


Figura 3.10. Plataforma de abrasión asociada a acantilados de la Fm. Río Negro, en cercanía a la boca del canal Jabalí.

GEOFORMAS ACUMULATIVAS

- Médanos (M)

Estas formas se encuentran ampliamente distribuidas en la Isla Jabalí, especialmente en el sector oriental y en el Sur de la misma. Se disponen en franjas que actúan de límite a las playas (Figura 3.15) y cuyos anchos alternan entre 300 m en la zona de baliza La Ballena y 100 m al sur de ésta, con alturas máximas de 7-8 m (Angelelli y Chaar, 1967). Desde el pueblo de Bahía San Blas hasta la baliza La Ballena las franjas medanosas muestran un rumbo Noroeste-Sudeste, cambiando a Norte-Sur hasta el comienzo de los Cordones holocenos arenosos, sobre los que desarrollan siguiendo su rumbo Noreste-Sudoeste (Figura 3.11).

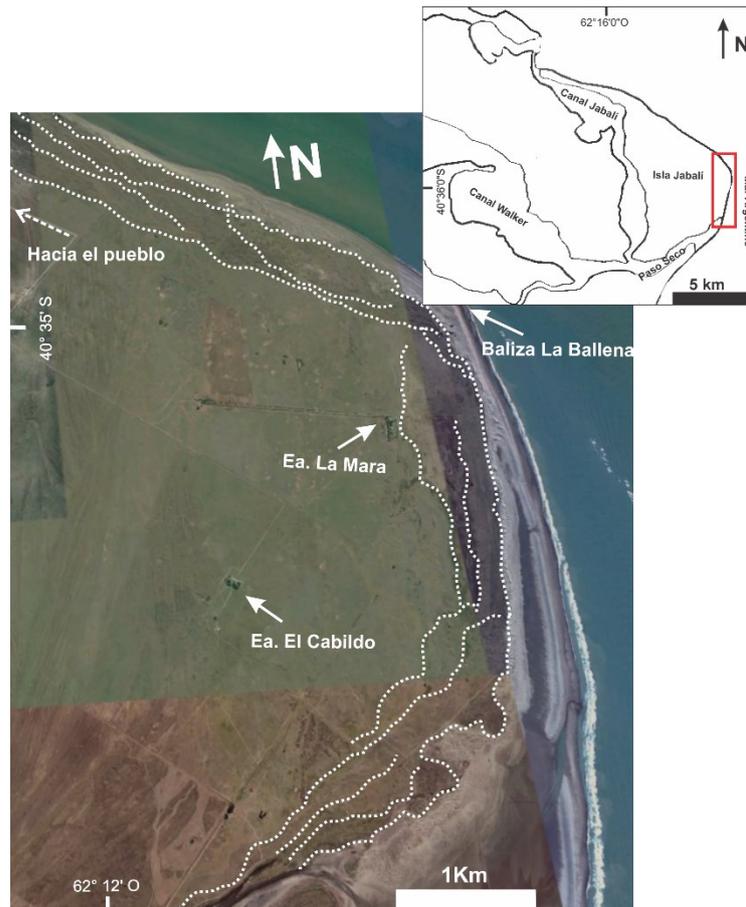


Figura 3.11. Diferentes orientaciones de las franjas de médanos al Este de la Isla Jabalí.

En el Sur de la isla hay un campo de dunas que a diferencia de las franjas ocupa una porción de terreno de 2 km de ancho, cubriendo hasta 4 km hacia el interior de la Isla Jabalí desde la intersección del canal Jabalí con el canal del Guanaco. La disposición del eje de estas dunas es Noreste-Sudoeste a Este-Oeste, copiando la orientación de los Cordones holocenos gravosos a los que se encuentran sobreimpuestos. Cabe destacar que también se han visto médanos sobreimpuestos a los Cordones holocenos arenosos.

Los médanos están constituidos por arena fina a muy fina, proveniente en mayor medida de las playas contiguas, siendo luego movilizadas por el viento al secarse. Entre las formas que se distinguen, sobresalen las de tipo barjanoide (Figura 3.12), volviéndose más irregulares en dirección al continente (Cortizo e Isla, 2012). En el mismo sentido varía el grado de fijación de los mismos, encontrándose médanos fijos, semifijos y móviles. Esto puede distinguirse en las imágenes satelitales, ya que la superficie arenosa cambiará su comportamiento óptico en función del desarrollo de vegetación que posea (Chuvieco Salinero, 2002). De esta manera, los médanos móviles se observan con coloraciones blanquecinas por la mayor reflectancia (proporción de radiación reflejada) de la arena descubierta. Contrariamente, en aquellos médanos fijos se aprecia mayor vegetación asociada y por lo tanto tonos más oscuros, mientras que los semifijos presentan características intermedias tanto en el desarrollo de vegetación como en las tonalidades de su superficie (Figura 3.13).

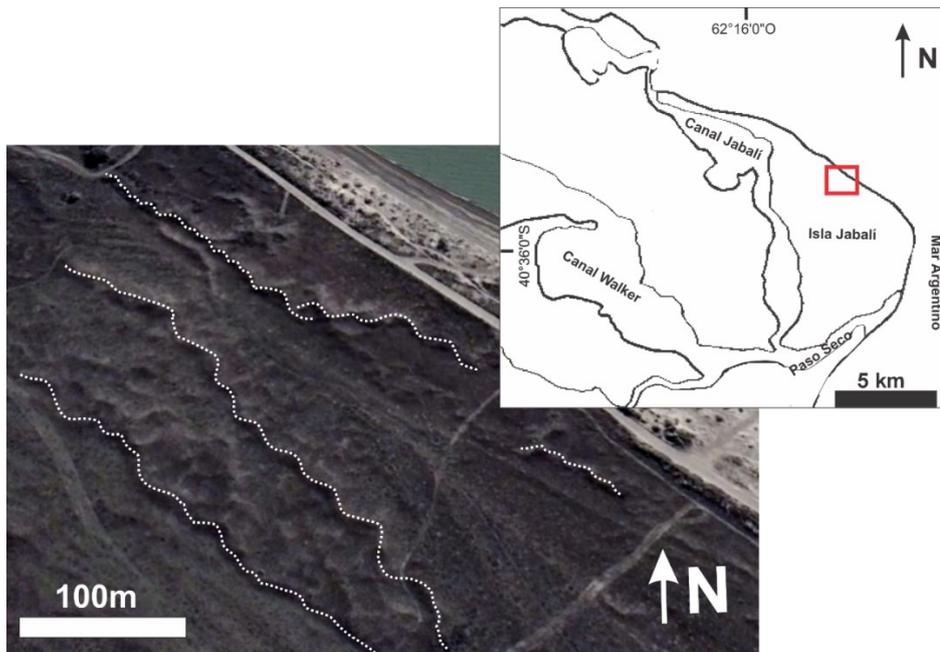


Figura 3.12. Principales médanos barjanoides en cercanías al pueblo de Bahía San Blas.

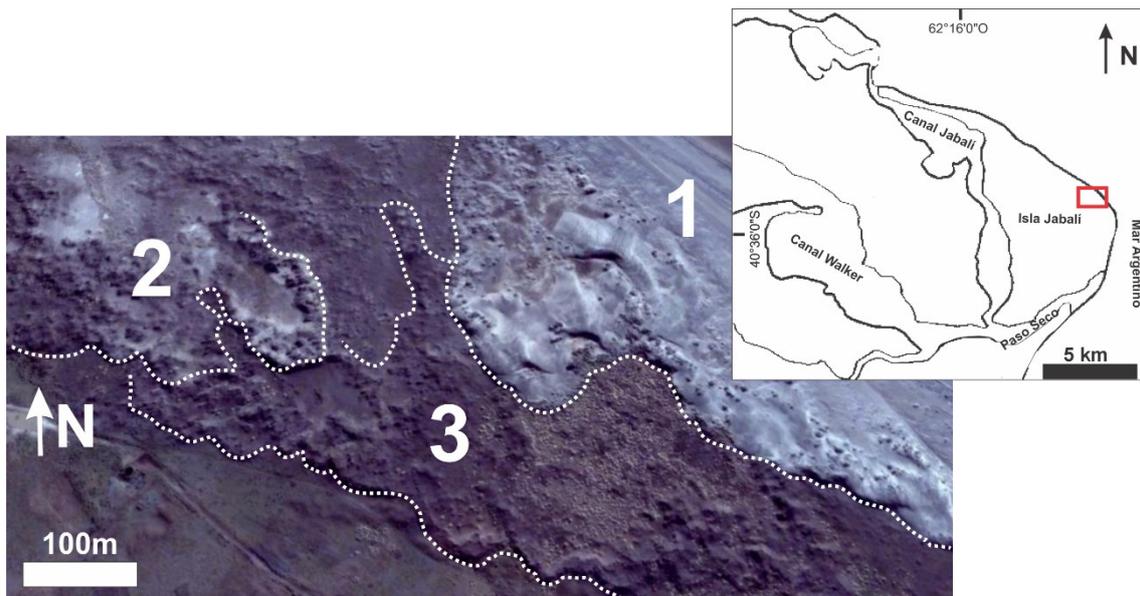


Figura 3.13. Diversos grados de fijación de los médanos al Norte de la baliza La Ballena. El grupo 1 representa los médanos móviles, el grupo 2 los semifijos y el grupo 3 los fijos. En estos últimos, se percibe una superficie de aspecto moteado dado por la mayor presencia de comunidades vegetales.

- Cordones pleistocenos (Cpg)

En conjunto forman un gran cuerpo de unos 6 km de ancho que limita al Este con el canal Jabalí, hacia el Oeste con la Planicie continental alta y al Sur por el canal Walker (Figura 3.8c y 3.8d). Desde su límite Sur se extienden unos 30 km a cotas entre 8 y 10 m. Los cordones individualizados se disponen en dirección Norte-Sur, aunque el conjunto

presenta una forma dispuesta Noroeste-Sudeste por los cortes de los canales que lo limitan. No sólo se observan rasgos erosivos actuales, sino que también existe una zona surcada por un antiguo canal de marea con rumbo Noreste-Sudoeste (Figura 3.8c).

Los cordones están compuestos por rodados con matriz arenosa y que pueden estar cementados por carbonato de calcio, presentando también valvas de moluscos de edad pleistocena media a tardía (Trebino, 1987). El origen de estas formas se debe al retrabajo efectuado por el mar de los sedimentos clásticos preexistentes durante un nivel del mar más alto que el actual (Witte, 1916; Rutter *et al.*, 1989; Weiler, 1993), correspondiendo al MIS 5e (Fucks *et al.*, 2011; 2012).

- Cordones holocenos

Aquí se incluyen los depósitos de la Isla Jabalí (Figura 3.8e) y los que se desprenden de ésta hacia el Sur. Fueron formados durante el Holoceno como resultado de la conjunción de factores como las características del sustrato, la forma de la paleocosta, los cambios eustáticos y a la acción del oleaje (Fucks *et al.*, 2012), estando todavía expuestos a este último factor. Se distinguen dos subunidades en base a su litología, morfodinámica y ubicación.

- *Cordones holocenos gravosos (Chg)*

El agrupamiento de estos cordones ha construido la Isla Jabalí, separada de la Isla Gama que se encuentra al Este por el canal San Blas. Al Oeste la bordea el canal Jabalí y en su extremo austral el canal del Guanaco hacia el Sudoeste y cordones arenosos hacia el Sudeste. La Isla Jabalí posee forma convexa en sentido al mar y aproximadamente 5 km de ancho en su parte media, angostándose hacia los extremos, totalizando una extensión de más de 17 km con elevaciones que rondan los 5 m. El extremo Norte es el que se alarga con mayor magnitud en orientación Noroeste-Este y ancho promedio de 1 km. En él puede apreciarse el último cordón que se depositó en la planicie mareal, presentando la sección terminal de este extremo una interdigitación entre las acumulaciones gravosas y pequeñas zonas intermareales. Los sectores medio y occidental de la isla muestran diferentes morfologías de cordones, algunos de los cuales fueron depositados por el canal Jabalí (Fucks *et al.*, 2012) como el de la Figura 3.14, y otros que muestran efectos de retrabajo de las olas (Isla y Bertola, 2003). Al Este y Sur de la isla, se imponen médanos que cubren los cordones (Figura 3.8f).

En su conjunto, los cordones litorales delinean las costas de un mar que los depositó con un nivel 4 o 5 m superior a la actualidad, perteneciendo al MIS 1 (Fucks *et al.*, 2011; 2012). El material de estos cordones es principalmente grava de clastos redondeados y discoidales, lo cual puede atribuirse a una mayor participación del oleaje, factor que suministra mayor energía disponible para la movilización de sedimento.



Figura 3.14. Vista al Sur de uno de los Cordones holocenos gravosos al Oeste de la Isla Jabalí.

- *Cordones holocenos arenosos (Cha)*

Desde la parte Sudeste de la Isla Jabalí, se desarrolla una serie de cordones que la unen con el continente, convirtiéndola más bien en una península (Figura 3.9e). La geoforma resultante de la unión de los sucesivos cordones arenosos presenta extremos aguzados tanto hacia al Norte como hacia el Sur. En total cubre alrededor de 13 km con un ancho máximo de poco menos de 1,5 km y una disposición Noreste-Sudoeste.

La litología de los cordones en esta región está representada por arena, lo que los diferencia sustancialmente de los Cordones holocenos gravosos. Si bien Ambrosini (1984) asocia su desarrollo a un nivel del mar bajo con períodos de estabilidad, Trebino (1987) lo refuta asegurando que se debe a cambios en la hidrodinámica mareal con la consecuente acreción y dándose a escala local una regresión.

Esta serie de cordones arenosos obstruye la desembocadura del arroyo del Guanaco (Cuadrado y Gómez, 2010), dejando vestigios de un paleocanal de 2,5 km de largo por 0,3 km de ancho en lo que hoy se conoce como Paso Seco (Maisano *et al.*, 2018). En adición, Espinosa e Isla (2011) acotan el cierre de la entrada mareal entre 1833 y 1912 apoyándose en mapas de la época. Aunque resulta interesante que tanto Cuadrado *et al.* (2018) como Stemples (2019) aseguran que la conexión del arroyo del Guanaco con el mar no está completamente bloqueada, sino que en eventos de tormentas el agua de mar logra sobrepasar los cordones arenosos, favoreciendo el crecimiento de matas microbianas.

- Playa (Ply)

En todo el flanco oriental de la Isla Jabalí existe un área de playa, encontrándose unas veces limitada por los cordones litorales gravosos y otras veces por médanos (Figura 3.15). Se puede dividir en dos sectores principales: desde el Norte hasta la baliza La Ballena y desde ésta hasta el comienzo de los Cordones holocenos arenosos (Figura 3.9e).

El primer sector se caracteriza por una pendiente de 15° a 5°, disminuyendo hacia el Sur (Trebino, 1987), y 45 m de ancho. En cambio, el otro sector mantiene pendientes menores a 1° y llega a una anchura de casi 1 km (Angelelli y Chaar, 1964). Por otro lado, Weiler (2000) hace referencia a una playa de gravas en el sector más pronunciado y a una playa arenosa en el de menor pendiente. La grava proviene del retrabajo ejercido por el oleaje sobre los Cordones litorales gravosos y la arena es aportada por deriva litoral desde el Sur y por la deflación actuante en el valle del Río Colorado (Isla y Bertola, 2003).



Figura 3.15. Playa limitada por médanos vegetados al Sur del pueblo de Bahía San Blas, en el sector oriental de la Isla Jabalí.

- Planicie mareal antigua (Pma)

En el sector central de la zona de estudio, se pudo determinar utilizando el MDE una zona deprimida que se desprende del cauce actual del canal Jabalí con rumbo Sudoeste y forma zigzagueante (Figura 3.8c). Las cotas correspondientes a esta forma alternan entre 0 y 2 msnm en los 5 km por los que se extiende, destacándose como una región deprimida con respecto al relieve circundante por estar emplazada en los cordones antiguos que llegan a superar los 10 msnm. Probablemente pertenezca a un canal de marea relictual que interrumpe la serie de Cordones pleistocenos.

- Planicies mareales modernas (Pmm)

Desde el punto de vista hidrográfico, los sectores dominados por la acción mareal están surcados por canales de marea que históricamente son conocidos como “arroyos”, tales como el arroyo Jabalí, el arroyo Walker y el arroyo del Guanaco, aunque en este trabajo serán referidos como “canales” con el fin de evitar confusiones en cuanto a su naturaleza. El primero es en la actualidad el que denota mayor actividad, discurre de Norte a Sur circundando el Oeste de la Isla Jabalí y a la altura del extremo Sur de la isla converge con el canal del Guanaco que fluye en dirección Este-Oeste hasta bifurcarse hacia el Noroeste y Sudoeste. El curso que corre al Noroeste cambia su nombre para ser el canal Walker, a la vez que aquel que sigue hacia el Sudoeste es considerado la continuación del canal del Guanaco. De las imágenes satelitales se deduce que el canal Jabalí recorre alrededor de 15 km con un cauce sinuoso que en la mayor parte del trayecto tiene alrededor de 350 m de ancho. Presenta en un sector canales tributarios con dominancia de patrones sinuosos dendríticos y, en menor medida, zonas de patrones rectangulares, siguiendo la clasificación de Perillo (2019) para canales de marea. El canal Walker se ensancha hasta 1 km en sus 8,5 km de largo hasta el Salitral del Barrancoso, mientras que el canal del Guanaco posee una anchura media de 150 m en su recorrido de 7,5 km que finaliza en el Salitral Grande.

- *Planicies fangosas*

Se forman en las márgenes de los canales mareales (Figura 3.9c), estando limitadas fundamentalmente por formas más elevadas que obstruyen el avance del agua al aumentar la marea. En el área estudiada, su extensión está condicionada por los niveles de planicies continentales y los flancos de los cordones, ya sean holocenos o pleistocenos (Figura 3.16). Su textura limo-arcillosa posiblemente se debe a la baja energía de los canales, la cual se va disipando producto de la baja pendiente de las márgenes y el rozamiento con la vegetación, dando lugar a la decantación de los tamaños más finos y su entrapamiento por las plantas halófitas. En la superficie de las planicies se aprecian costras salinas sobre los sedimentos finos o sobre las matas microbianas que en ocasiones los cubren.

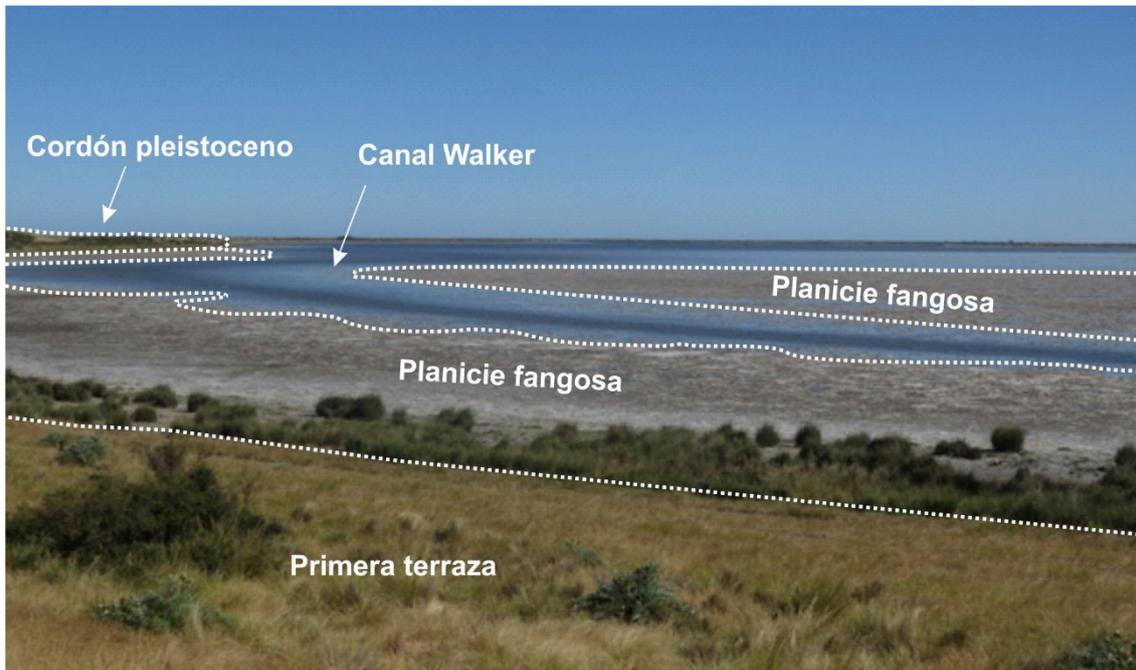


Figura 3.16. Planicie fangosa lindante con la Planicie continental alta y un Cordón pleistoceno.

- *Planicie arenosa*

Está acotada a la zona de Paso Seco, al Sur de la Isla Jabalí, con orientación NE-SO (Figura 3.17). Su extensión es de alrededor de 4 km con ancho máximo cercano a los 900m, angostándose hacia el Noreste. Se encuentra limitada al Norte por Cordones holocenos gravosos y al Sur por la Planicie continental baja, ambas formas cubiertas por médanos. Además, en su extremo Noreste se comunica con los Cordones holocenos arenosos y en su extremo Sudoeste con el canal Jabalí. Por lo tanto, la inundación mareal de la planicie, puede ser desde el Mar Argentino por el Noreste y desde el canal Jabalí desde el Sudoeste.

En superficie se destacan costras salinas que cubren tanto sedimentos arenosos como matas microbianas. Los sedimentos arenosos pueden ser depositados mayormente por acción eólica desde los médanos circundantes, funcionando en este caso como un depocentro. Llama la atención en subsuelo la estructura laminar, derivada de los procesos rítmicos de inundación y desecación.



Figura 3.17. Planicie mareal arenosa en Paso Seco bordeada por médanos.

- *Barras arenosas*

Pueden ser observadas en todos los canales, aunque se concentran en el canal Jabalí. Su ubicación es variable, pudiendo estar tanto adosadas a las orillas como dispuestas en la parte central de los cauces (Figura 3.9a y 3.9b). Su acumulación puede deberse a cambios de pendiente del lecho, a las características del canal, cuya velocidad de flujo puede reducirse por obstáculos, a la dinámica de los cursos sinusoidales que en su cara interna aumentan la sedimentación e incluso a la pérdida de energía de las mareas durante el reflujó. Morfológicamente se distinguen barras elongadas e irregulares, apreciándose que las primeras prevalecen en las márgenes, mientras que las segundas lo hacen hacia el centro del cauce.

3.4.3.1 Marismas

Combinando las observaciones remotas y las apreciaciones de campo, las planicies mareales descritas anteriormente se extienden desde los canales principales una distancia de entre 25 y 1000 m. En esa zona intermareal se discrimina una planicie mareal alta y una baja, siendo alcanzada la primera sólo durante la pleamar de sicigia por su posición topográfica más elevada y la segunda, de menor altura, es incluso ocupada por las pleamares de cuadratura. Si la planicie mareal está cubierta por vegetación es considerada una “marisma”, pudiéndose efectuar la respectiva diferenciación entre marisma baja y alta en función de las comunidades vegetales que en ellas se desarrollan (Figura 3.18). Es así que es común encontrar en la marisma baja *Spartina alterniflora*, mientras que la marisma alta suele estar ocupada por *Limonium brasilense*, *Sarcocornia perennis* y/o *Spartina densiflora* (Isacch et al., 2006).



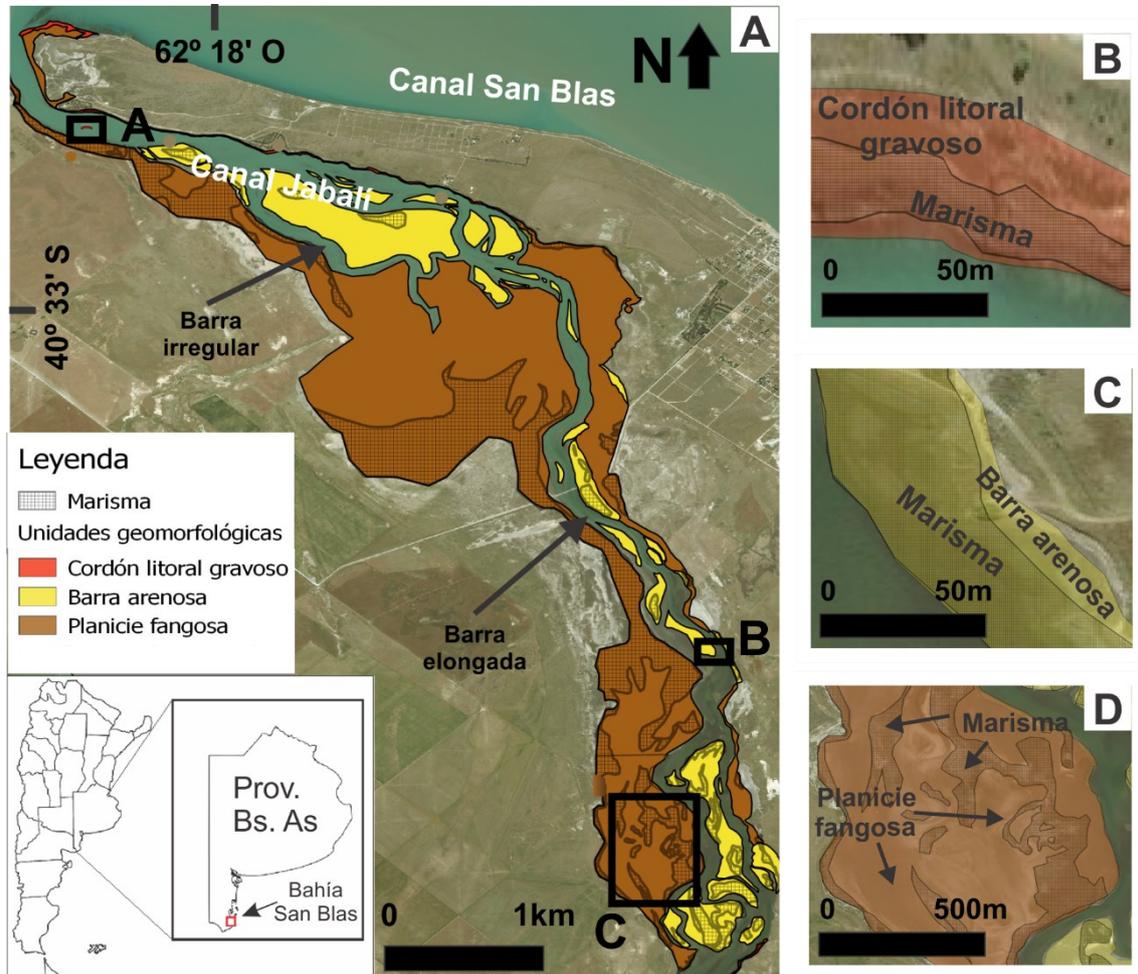
Figura 3.18. Planicie mareal moderna colonizada por *Spartina Alterniflora* en la marisma baja y *Spartina densiflora* en la marisma alta.

Cabe destacar que las marismas periféricas a la zona de Bahía San Blas son una unidad geomorfológica de suma importancia, ya que conforman un humedal que ha sido catalogado como Área Protegida Provincial y sus características geohidrológicas y geoquímicas representan el tema central en esta investigación. Las marismas exhiben su mejor expresión en el canal Jabalí, ocupando parcialmente otras geoformas a las que se impone la Planicie mareal moderna, como son las Planicies fangosas, las Barras arenosas y los Cordones gravosos, tanto pleistocenos como holocenos. La zona intermareal del canal Jabalí comprende 6,15 km², distribuidos de la siguiente manera: 86,88 % en las Planicies fangosas, 13,08 % en las Barras arenosas y 0,04 % en los Cordones gravosos. La instalación de la planicie de marea sobre estos últimos introdujo material arcilloso que compone la matriz de los sedimentos gravosos en la marisma baja, mientras que en la marisma alta la matriz es arenosa.

A partir de un mapeo de detalle se estimó la superficie en la que se extiende la marisma sobre cada geoforma. En los Cordones gravosos es de 0,08 km², lo que totaliza un 2,91 % de los mismos. En cuanto a las Barras arenosas, su área total es de 4,07 km², de los cuales un 16,71 % pertenece a marisma. Por su parte, la Planicie fangosa exhibe un porcentaje de marisma de 32,01 %, representando 16,7 km² dentro del humedal. De los porcentajes anteriores se deduce que la marisma vinculada al canal Jabalí se distribuye en mayor proporción en la Planicie fangosa y en menor porcentaje en los Cordones gravosos, a la vez que en las Barras arenosas su desarrollo es intermedio (Figura 3.19).

En la región de Paso Seco, se reconoce únicamente marisma alta con la vegetación típica de *Sarcocornia perennis* principalmente, acompañada en menor medida por *Limonium brasilense* y *Spartina Densiflora*. Sin embargo, el grado de formación de

marisma en la geofoma denominada Planicie arenosa es bajo, debido a que su inundación es eventual por la combinación de factores como su lejanía de la boca del canal Jabalí, su posición topográfica más elevada y la existencia de una barrera medianosa obstruyendo el ingreso del mar desde el Noreste.



4.

SUELOS

4.1 Introducción

En ambientes de humedales los suelos comúnmente presentan rasgos redoximórficos, lo que los convierte en suelos hidromórficos. Tales suelos pueden darse por la existencia de un nivel freático somero o producto de prolongados períodos de inundación como para generar anoxia (USDA-NRCS, 2006). Dentro de los suelos hidromórficos, podemos distinguir a los formados en humedales costeros, es decir, bajo influencia marina. En estos ambientes los aportes de agua con alta proporción iónica favorecen la formación de sales (Alvarez *et al.*, 2014a). En zonas áridas y semiáridas, las condiciones climáticas acentúan estos procesos sobre los sedimentos superficiales e incluso en profundidad. La salinidad del agua del suelo es uno de los más importantes condicionantes de la distribución de la vegetación (Silvestri y Marani, 2004). Por lo tanto, las plantas halófitas predominarán en ambientes salinos como las marismas. En estos ecosistemas la distribución de la vegetación presenta comúnmente una zonación que es regulada por el proceso ecológico de sucesión vegetal, mediante la cual el suelo no vegetado es colonizado por especies características del sector más bajo de la marisma donde favorecen la acreción mediante el entrapamiento de sedimento, generando la elevación del terreno (Ríos *et al.*, 2018). En adición, la sedimentación en regiones costeras determina un menor grado de pedogénesis con sucesiones de discontinuidades litológicas. Por otro lado, las altas salinidades junto con las condiciones reductoras son propicias para la generación de materiales sulfídicos en los denominados suelos sulfatos ácidos potenciales (Bouza *et al.*, 2019). El concepto básico de material sulfídico en un suelo se refiere a un material que tiene el potencial para convertirse en un material sulfúrico a través de la oxidación de minerales del grupo de los sulfuros (Sullivan *et al.*, 2008). Este proceso puede inducir la acidificación del medio, a partir del drenaje de los suelos sulfato ácidos (Lin *et al.*, 1995), ya sea por descenso del nivel freático bajo las capas piriticas durante episodios prolongados de sequía en climas áridos o en ambientes costeros por cambios en la circulación mareal.

Los antecedentes pedológicos en la zona estudiada se acotan a la Carta de Suelos 1:200 000 (INTA-MAA, 2010), por lo que en este capítulo se busca estudiar en detalle los suelos de la marisma para identificar rasgos que posteriormente puedan relacionarse a la variabilidad composicional del agua subterránea y su circulación en la planicie mareal.

4.2 Metodología

La clasificación regional de suelos fue llevada a cabo siguiendo los criterios del *Soil Survey Staff* (1999) a nivel de Subgrupos y sobre la base del relevamiento por parte del Instituto de Suelos perteneciente al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) en convenio con el Departamento de Suelos y Agua del Ministerio de Asuntos

Agrarios (MAA). Como resultado de dicho convenio se confeccionaron las Cartas de Suelos de los partidos de Villarino y Patagones, donde se ubica la Carta 4163-11 Bahía San Blas (INTA-MAA, 2010) que contiene al área de estudio de esta investigación. Si bien se respetaron los límites de las unidades cartográficas, a fin de simplificar la lectura del mapa, se renombraron las unidades de la carta mencionada (Unidades I-V) correlacionándolas con las unidades geomorfológicas identificadas en el capítulo anterior.

Se realizaron calicatas en tales puntos para describir el perfil del suelo y muestrear los horizontes diferenciados (ver Anexo I), según los métodos propuestos por Schoeneberger *et al.* (2002) quienes además diferenciaron dos tipos de muestras: de referencia (para análisis específicos) y de caracterización (para interpretar el perfil en general). En este trabajo se recolectaron muestras de caracterización en todos los puntos para representar las diferencias entre la marisma alta y la baja. En el campo se describió el espesor de cada horizonte, la textura, el tipo de límite, la presencia de raíces y los rasgos redoximórficos de acuerdo a Vepraskas *et al.* (1994). También se tomaron muestras de referencia con signos de reducción para medir el Eh y pH en pastas de saturación *in situ* (Watling *et al.*, 2004). Esto se realizó debido a la posibilidad de encontrar materiales sulfídicos (suelos potencialmente ácidos), para lo cual se realizaron tareas específicas que serán descritas más adelante. También se efectuó el muestreo de los sedimentos extraídos cada aproximadamente 15 cm, a partir de las perforaciones manuales con barreno para instalación de los freatómetros a lo largo de transectas. Las perforaciones se dispusieron de a pares abarcando en cada sector la marisma alta y la marisma baja con fines comparativos.

En el laboratorio todas las muestras fueron secadas al aire, determinando luego el color con la carta de colores Munsell[®] y la clase textural al tacto siguiendo la metodología de Ritchey *et al.* (2015). Posteriormente, cada muestra fue molida y tamizada con malla 2 mm, pesando la fracción fina (pasante) y la gruesa (retenida) para calcular los respectivos porcentajes. Una vez determinadas las clases texturales se procedió a la construcción de los perfiles esquemáticos, tanto de las perforaciones como de las calicatas, donde se representaron las diferencias granulométricas.

Se seleccionó un grupo de muestras (Subgrupo 1, ver Anexo I), para llevar a cabo un análisis granulométrico de detalle con difractómetro láser Malvern Mastersizer 2000 (facilitado por ALUAR por convenio de colaboración con el CCT-CENPAT), previo tamizado con tamiz de abertura de 1 mm (1000 μm) por ser éste el límite de detección del equipo. Dicho grupo estaba conformado por entre 2 y 3 muestras de cada perfil, las cuales se seleccionaron en función de su textura, buscando representar la variabilidad textural de los perfiles en profundidad.

Los valores resultantes del difractómetro láser fueron agrupados en intervalos granulométricos (Tabla 4.1), según la división Udden-Wentworth (Wentworth, 1922), y se recalcularon considerando la fracción retenida en el tamiz de abertura de 1 mm. Posteriormente, se procesaron los datos con el software de licencia libre GRADISTAT versión 8.0 (Blott, 2010), diseñado para cálculos estadísticos de granulometría. Entre los datos obtenidos pueden mencionarse el tipo de distribución y selección; el grupo textural, de acuerdo a Folk (1954); y parámetros estadísticos (a partir de valores ϕ ,

mediante el método logarítmico) como media, selección (también “dispersión” o “sorting”), asimetría (“skewness”) y agudeza (“kurtosis”). Para presentar estos últimos se utilizó la nomenclatura de McManus (1988) que se muestra en la tabla 4.2. Además, se obtuvieron los diagramas ternarios de la clasificación de Folk (1974) para cada muestra.

Tabla 4.1. Intervalos granulométricos utilizados para cálculos de porcentajes.

Tamaño retenido (μm)	Tamaño retenido (ϕ)	Sedimento
2000	-1	Grava
1000	0	Arena muy gruesa
500	1	Arena gruesa
250	2	Arena mediana
125	3	Arena fina
63	4	Arena muy fina
< 63 (Fondo de tamiz)	Fondo	Limo + arcilla

Tabla 4.2. Clasificación textural a través de parámetros estadísticos de McManus (1988).

Selección		Asimetría		Agudeza	
Muy bien seleccionado	< 0,35	Muy positiva	0,3 a 1	Muy platicúrtico	< 0,67
Bien seleccionado	0,35 a 0,5	Positiva	0,1 a 0,3	Platicúrtico	0,67 a 0,9
Moderadamente bien seleccionado	0,5 a 0,7	Simétrica	0,1 a -0,1	Mesocúrtico	0,9 a 1,11
Moderadamente seleccionado	0,7 a 1	Negativa	-0,1 a -0,3	Leptocúrtico	1,11 a 1,5
Pobremente seleccionado	1 a 2	Muy negativa	-0,3 a -1	Muy leptocúrtico	1,5 a 3
Muy pobremente seleccionado	2 a 4			Extremadamente leptocúrtico	> 3
Extremadamente mal seleccionado	> 4				

Dentro del Subgrupo 1, las muestras de la campaña de 2018 (transectas 1, 3, 5 y 9, Figura 4.1) fueron sometidas a difracción de rayos X (DRX) en polvo al azar para reconocimiento de minerales. Las DRX fueron efectuadas en el Laboratorio de Rayos X del Centro de Investigaciones Geológicas, utilizando un equipo marca PANalytical, modelo X'Pert PRO con lámpara de Cu ($k\alpha=1.5403 \text{ \AA}$) que opera a 40 mA y 40 kV. Aquellas muestras de la campaña de 2021 (transectas 2, 4, 6, 7 y 8, Figura 4.1) se observaron bajo microscopio petrográfico Carl Zeiss Axioplan 45 18 89. Resulta conveniente aclarar que la discrepancia en los métodos para la determinación mineralógica se debió a la imposibilidad de contar con el difractómetro de rayos X, debido al contexto de pandemia y las limitaciones en los traslados.

Para el análisis de la formación de sales en el suelo (ver Anexo I), tanto en las transectas pedológicas como las de costras salinas (Figura 4.1), se molieron muestras de suelos y con agua destilada se hicieron extractos suelo-agua en la relación 1:5. De los

mismos se sustrajeron unas gotas que fueron evaporadas al aire sobre un portaobjeto, con el fin de observar la cristalización de sales resultante. Los precipitados fueron observados con un microscopio electrónico de barrido (MEB) Jeol-JSM 6460 LV, adosado a una sonda detectora de rayos X "EDS" (espectrometría de dispersión de energía) PW7757/78 para conocer la composición elemental (mediciones realizadas en el laboratorio de ALUAR por convenio de colaboración con el CCT-CENPAT).

Por otro lado, se efectuaron muestreos sistemáticos cada 20 m de los primeros centímetros de suelo a lo largo de dos transectas desde el canal Jabalí hasta el límite superior de la marisma. Una transecta se localizó en el tramo medio del canal, al lado del puente de acceso al pueblo (transecta CS), y la otra (transecta TCS) al Sur del canal Jabalí. La primera fue dividida en 3 tramos: CSA (al Este del canal), CSB (en el centro) y CSC (margen Oeste del canal). A fin de identificar variaciones espaciales en la salinidad y en la presencia y tipos de sales, se determinó en cada muestra: distancia al canal, textura, presencia de costra salina, mineralogía de la misma mediante MEB y conductividad eléctrica del extracto de suelo. Asimismo, con la totalidad de las muestras se prepararon nuevos extractos de saturación, dejándolos reposar 24 hs, según lo propuesto por el Laboratorio de Salinidad de Estados Unidos (1993). Luego, se midió la conductividad eléctrica (CE) con un conductímetro Hanna y los resultados fueron graficados en función de la profundidad en los perfiles y de la distancia al canal Jabalí en las transectas de costras salinas. Estas últimas comprendieron muestreos de los primeros centímetros de suelo cada 20 m, iniciando en cercanía a los pozos y finalizando en el canal.

Con respecto a los suelos sulfato ácidos potenciales (Subgrupo 2, ver Anexo I), las muestras fueron transportadas a aproximadamente 4°C y congeladas a -20°C en laboratorio con el fin de evitar reacciones químicas indeseadas. Luego, fueron secadas durante 24 hs en estufa a 85°C para destruir las bacterias sulfuro oxidadoras (Lin *et al.*, 1996). La determinación de materiales sulfídicos se hizo con el procedimiento propuesto por *Soil Survey Staff*, 1999. El pH fue medido una vez a la semana hasta su estabilización, colocando los suelos bajo condiciones aeróbicas (una capa de 1cm de espesor a capacidad de campo) a temperatura ambiente. La presencia de materiales sulfídicos (componentes sulfúricos oxidables) usada como criterio para la clasificación del suelo (Sulfaquents) ocurre cuando hay un descenso del pH de 0,5 unidades o más hacia valores de pH de 4 o menos en una relación 1:1 peso en volumen o en un mínimo de agua para permitir la medida dentro de 8 semanas como mínimo.

Como referencia también se obtuvo el pH de oxidación con peróxido de hidrógeno 30 % volumen ajustado a pH 5 (Ahern *et al.*, 2004). Y como dato complementario se analizó el porcentaje de materia orgánica con el método de Walkley y Black modificado a micrométodo (Richter, 1981).

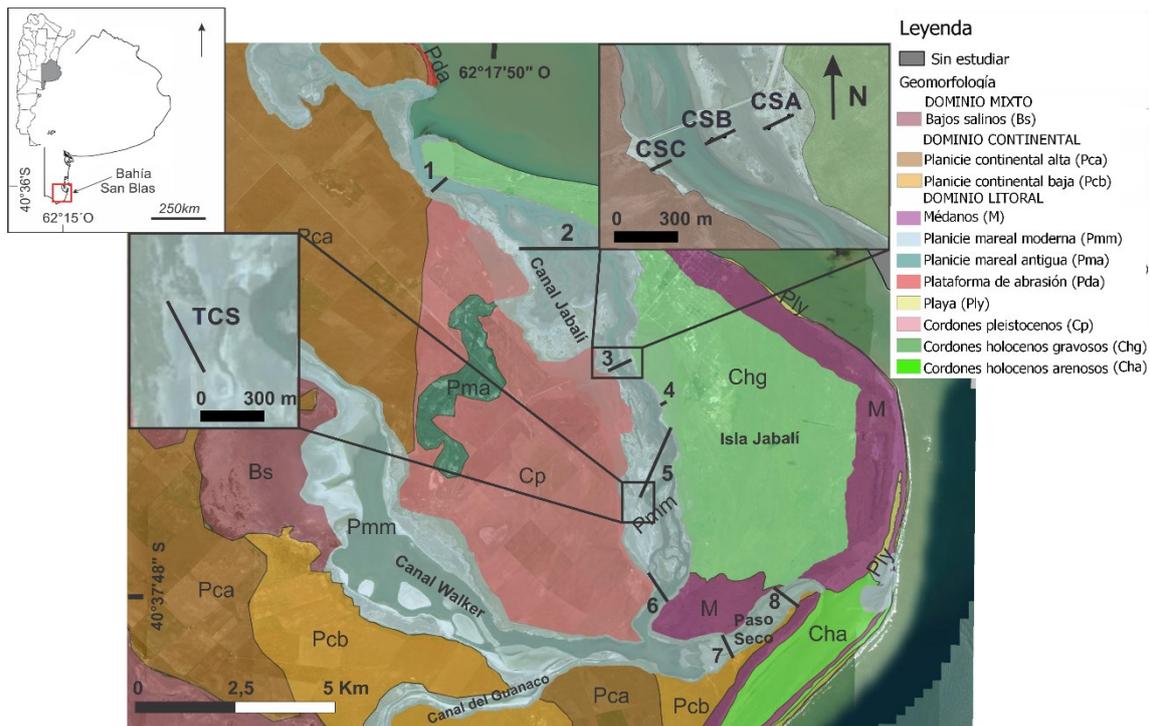


Figura 4.1. Distribución de las transectas pedológicas. En los recuadros se muestran las transectas de costras salinas.

4.3 Resultados

4.3.1 Unidades pedológicas regionales

En la periferia al humedal que se vincula al canal Jabalí, se reconocen cinco unidades pedológicas de considerable extensión clasificadas a nivel de Subgrupo y asociadas a las geoformas mayores descritas en el capítulo anterior (Figura 4.2). La unidad I (indicada en color verde), acotada al sector Norte de la Planicie continental alta, posee mayor proporción de suelos clasificados como Haplargides típicos. La unidad II (indicada en color gris) también se relaciona a la Planicie continental alta, ocupando gran parte de la misma con predominio del Subgrupo de suelos Haplustol árido somero. Por su parte, la unidad III (indicada en color amarillo) es la más extensa, estando asociada principalmente a los Cordones gravosos, tanto pleistocenos como holocenos, presentando en mayor medida suelos del Subgrupo Cuarzipsamente típico. No obstante, la unidad III también se halla en menor proporción en otros sectores como al Sur del canal Walker, sobre la Planicie continental baja, y al Sur del canal Jabalí, en una porción de la Planicie continental alta. La unidad IV (violeta) representa la unidad conformada tanto por el Subgrupo Ustifluvente típico como por Cuarzipsamente típico, desarrollándose sobre la Planicie continental baja en el Sur de la zona estudiada. En última instancia, la unidad V (indicada en color celeste) agrupa suelos del Subgrupo

Acuialide típico, los cuales se distinguen en una pequeña porción de la Planicie mareal moderna al Norte de la boca del canal Jabalí y en un Bajo salino próximo al canal Walker.

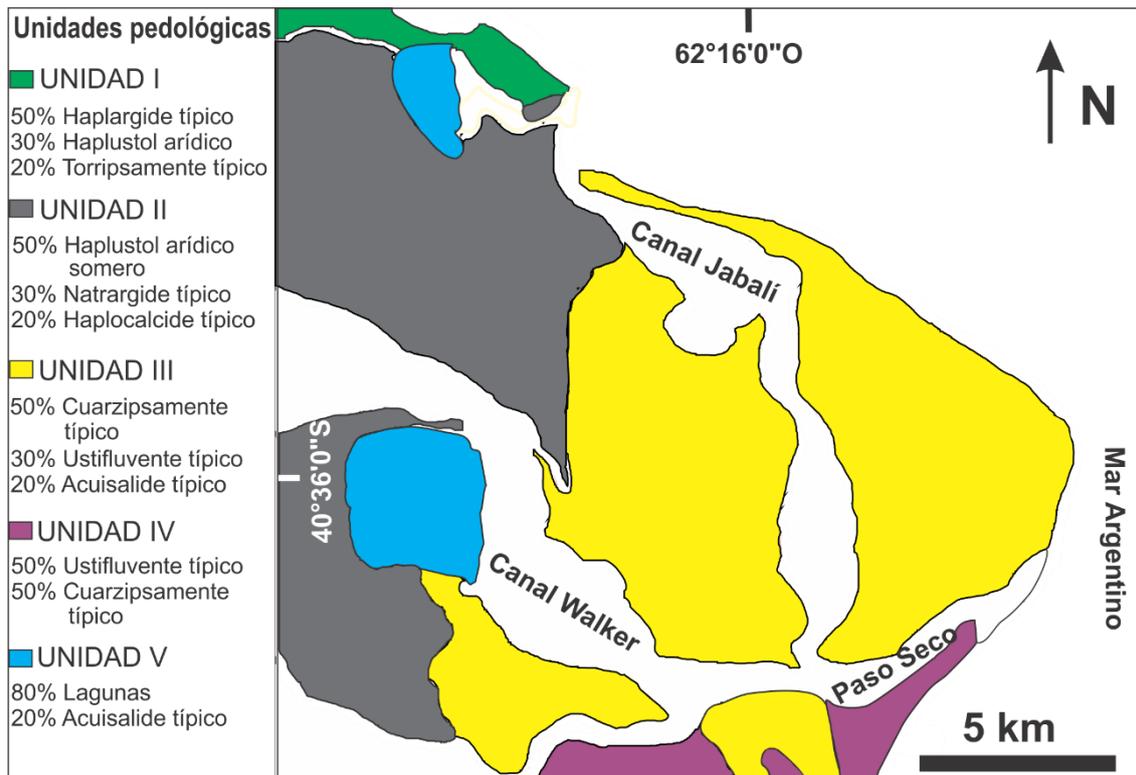


Figura 4.2. Mapa de suelos del área de estudio (modificado de la Carta de Suelos 4163-11 Bahía San Blas, INTA-MAA, 2010).

4.3.2. Descripción de perfiles del humedal

Para una caracterización pedológica del área de marisma se comenzó con descripciones en campo de los perfiles de suelo mediante calicatas distribuidas a lo largo de transectas, abarcando tanto a la marisma alta como a la marisma baja (Figura 4.1). Es importante aclarar que las transectas 4 y 5 no cuentan con descripciones de perfiles en calicatas, sino que los perfiles fueron descriptos a partir de perforaciones.

Transecta 1

La transecta 1 se encuentra próxima a la boca del canal Jabalí y está conformada por los perfiles MSB-4 y MSB-5 en la margen Oeste y MSB-19 junto a MSB-20 en la margen Este (Figura 4.3). En general muestra suelos en la marisma alta y baja con textura franco arenosa a arcillosa en la margen Oeste, asociados a una Planicie fangosa (Figura 4.4). En la marisma alta prevalecen los rasgos redoximórficos como moteados (Figura 5), mientras que en la marisma baja lo hacen los colores gley. Entre los 40 y 70 cm aproximadamente, se reconoció en los dos perfiles una capa de arenisca bien consolidada que funciona como un horizonte impermeable.

En la margen opuesta, los perfiles derivan de depósitos de grava que conforman los Cordones modernos gravosos (Figura 4.6), conteniendo una matriz con textura arenosa en la marisma alta y arcillosa en la marisma baja. Esta diferencia de matrices influye en la cohesión de los sedimentos, lo que produce que el perfil MSB-19 sea más cohesivo que el MSB-20, razón por la cual en este último no pudieron superarse los 35 cm de profundidad.

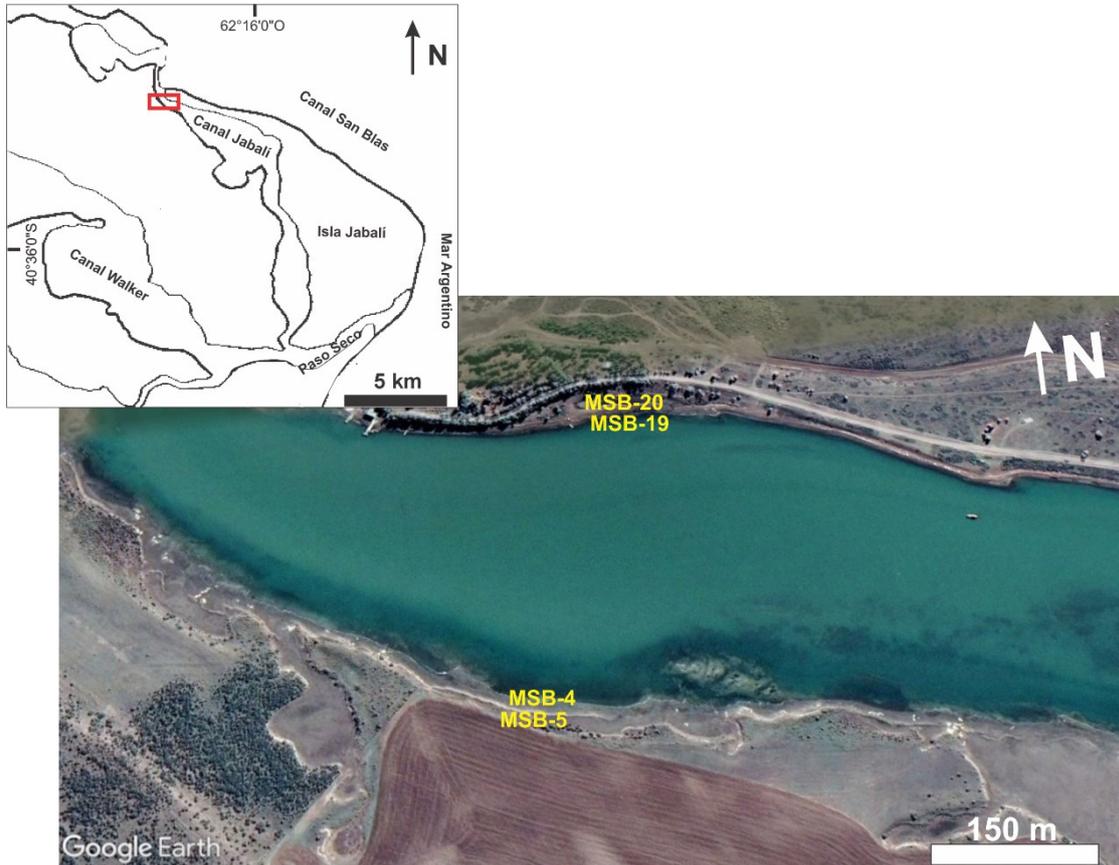


Figura 4.3. Ubicación de los perfiles de la transecta 1.

- Perfil MSB-4

Desarrollado en la marisma baja con vegetación predominante de *Spartina alterniflora* (Figura 4.4).

- **Ag** (0-7 cm): Color 2,5Y 6/2; textura franco arenosa; estructura masiva.
- **Bg** (7-17 cm): Color 2,5Y 6/2; textura franco limo-arcillosa; estructura masiva; presencia de moteados rojizos a verdosos, límite gradual y suave.
- **Cg** (17-42 cm): Color 5Y 3/2; textura arenosa; estructura masiva, límite abrupto y suave.
- **2Cg** (> 41 cm): Capa de arenisca con estructura laminar; forma de fractura frágil; resistencia moderadamente dura.

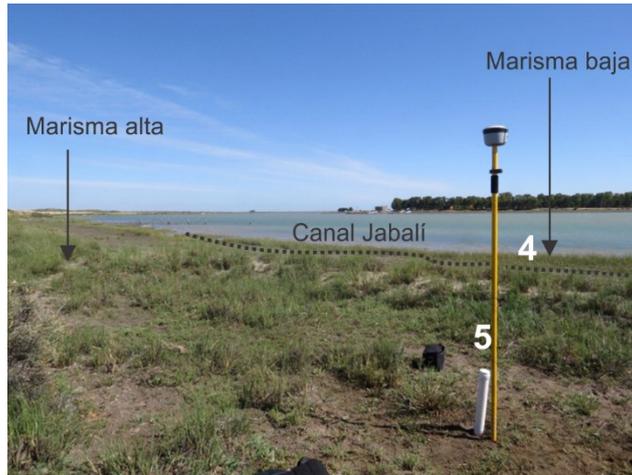


Figura 4.4. Ubicación de los perfiles MSB-4 y MSB-5.

- Perfil MSB-5

Ubicado en cercanía al anterior, pero en un sector más elevado correspondiente a la marisma alta donde se reconocieron discontinuidades litológicas (Figura 4.4 y 4.5). Este sector se encontraba vegetado por *Spartina densiflora* y *Limonium brasiliense*.

- **A** (0-18 cm): Color 10YR 3/3; textura franco arenosa; estructura masiva; límite transicional-gradual, ondulado.
- **C** (12-32 cm): Color 10YR 5/3; textura franco arenosa; estructura masiva; presenta moteados comunes, límite abrupto y suave.
- **2Bg** (32-73 cm): Color 10YR 3/4; textura franco arcillosa; rasgos redoximórficos como moteados abundantes, límite abrupto y suave.
- **3C** (> 73 cm): Capa de arenisca; contacto paralítico.

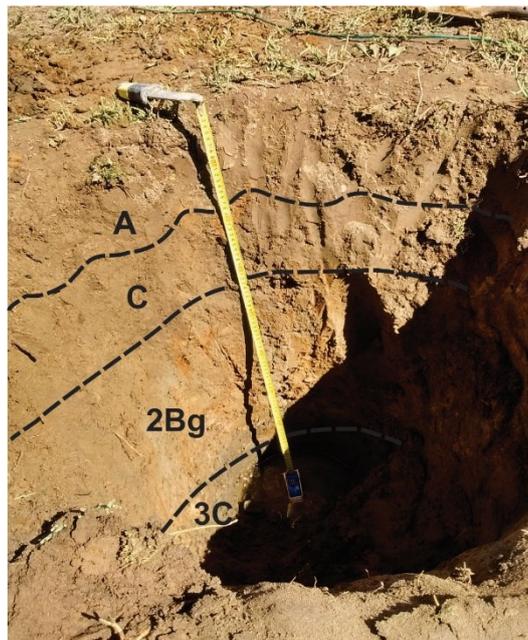


Figura 4.5. Calicata del perfil MSB-5.

- Perfil MSB-19

Posicionado en la margen Este del canal Jabalí y en la marisma baja, estando colonizada por *Spartina alterniflora* (Figura 4.6). Cabe resaltar la presencia de conchilla, lo cual no se observó en los otros perfiles de esta transecta.

- **A** (0-12 cm): Color 10YR 4/3; textura franco limosa con gravas; estructura masiva; contiene raíces abundantes y finas; límite abrupto y ondulado.
- **Cg** (> 12 cm): Color 5Y 4/2; textura arcillo-limosa con gravas y restos de valvas tamaño arena; estructura masiva; desarrollo de raíces escasas y finas.

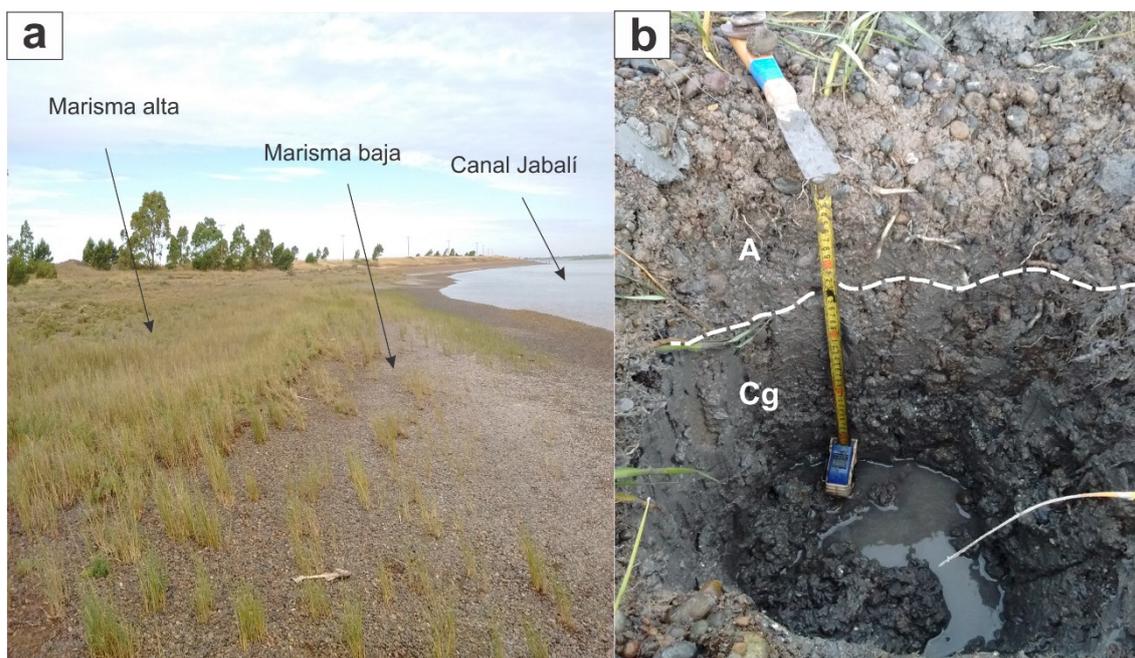


Figura 4.6. a. Ambiente de marisma asociado a Cordón holoceno gravoso. b. Calicata del perfil MSB-19.

- Perfil MSB-20

Cercano al perfil anterior, aunque en un área de marisma alta (Figura 4.6) en que se halla vegetación de *Limonium brasiliense*.

- **A** (0-9 cm): Color 10YR 4/3; textura franco limosa con gravas; estructura masiva; presencia de raíces abundantes y finas; límite abrupto y ondulado.
- **C** (> 9 cm): Color 10YR 6/3; textura arcillo-limosa con gravas; estructura masiva; raíces escasas y finas; nivel freático a -35 cm.

Transecta 2

Al Sur de la transecta anterior y al Norte del puente de acceso al pueblo de Bahía San Blas, se hallan los perfiles MSB-37 y MSB-38 al Oeste y MSB-39 y MSB-40 al Este. La

margen Oeste se desarrolla sobre una Planicie mareal fangosa, a la vez que la margen Este lo hace en un ambiente de Cordones gravosos en la marisma alta y de Planicie fangosa en la marisma baja (Figura 4.7). La margen Oeste en la marisma alta exhibe suelos franco arcillo-arenosos con participación de grava y conchilla en todo el perfil. Diferente es la situación en la marisma baja donde el horizonte superficial es arenoso con gravas y en profundidad prevalece la textura franco-arcillosa con conchilla. Los dos perfiles muestran moteados en los tramos superficiales, pero en la marisma baja todos los horizontes poseen colores gley.

La margen Este en el perfil más elevado tiene textura fina en superficie, volviéndose más arenosa en profundidad, aunque siempre con gravas. La marisma baja es texturalmente fina sin gravas. Sólo se observan moteados en el sector bajo y horizontes gley subsuperficiales.

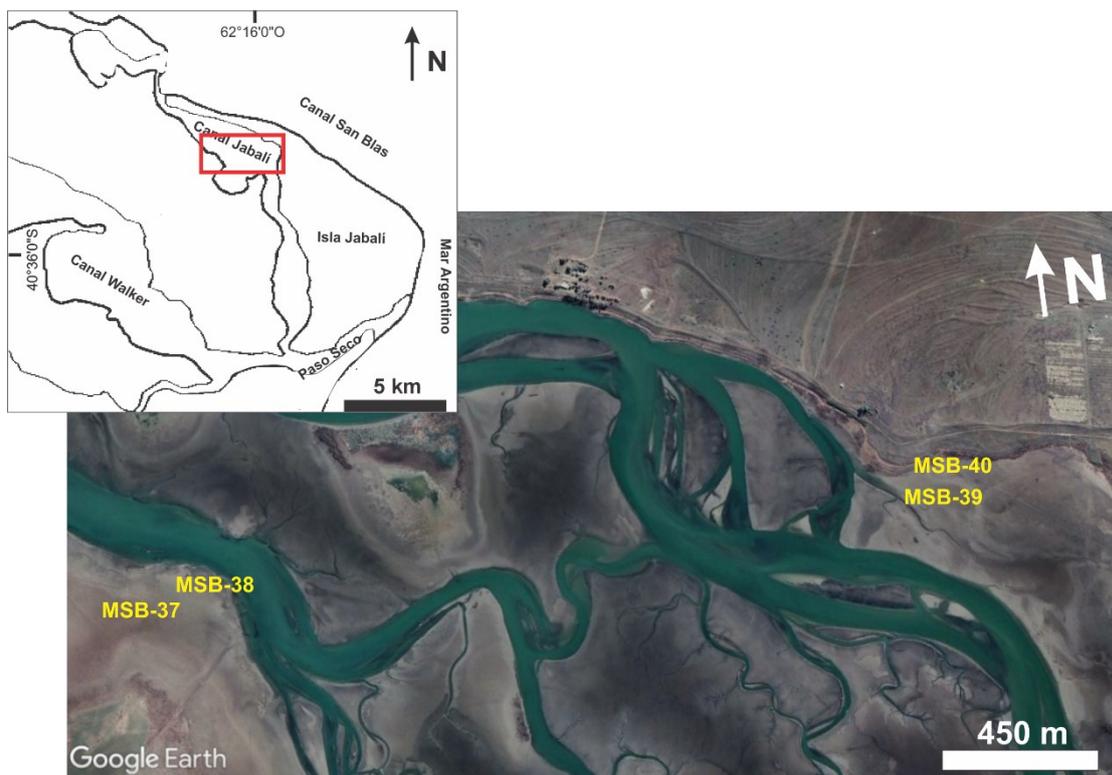


Figura 4.7. Ubicación de los perfiles de la transecta 2.

- Perfil MSB-37

En la margen Oeste del canal Jabalí y en la marisma alta, colonizado por *Sarcocornia perennis* y *Spartina* (Figura 4.8).

- **Az** (0-10 cm): Color 10YR 3/3; textura areno-arcillosos con gravas y conchilla; estructura masiva; presencia de moteados negros a grises; contiene raíces abundantes; límite gradual.

- **B** (10-35 cm): Color 7,5YR 5/4; textura areno-arcillosos con gravas y alta proporción de conchilla; estructura masiva; escasas raíces; límite ondulado.
- **C1** (35-36 cm): Color 7,5YR 4/3; textura areno-limosa con muy alta proporción de conchilla; estructura masiva; presencia de moteados comunes; límite gradual.
- **Cg2** (> 56 cm): Color 7,5YR 3/2; textura areno-limosa con muy alta proporción de conchilla; estructura masiva; limita con el NF.

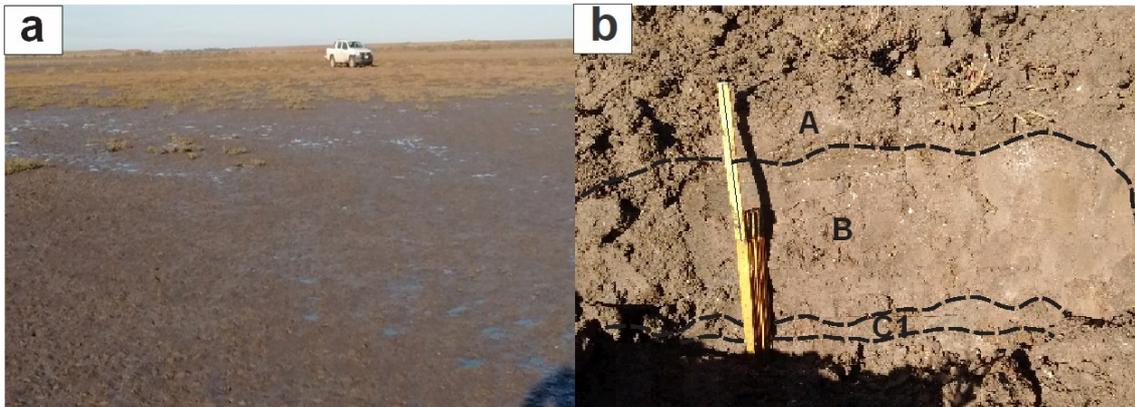


Figura 4.8. a. Marisma alta en Planicie mareal fangosa. b. Calicata de MSB-37.

- Perfil MSB-38

Se ubica en la margen Oeste del canal Jabalí y en la marisma baja, colonizado por *Sarcocornia perennis* y *Spartina alterniflora* (Figura 4.9).

- **Cg** (0-34 cm): Color 10YR 3/2; textura arenosa con gravas; estructura masiva; presencia de moteados grandes, abundantes de coloraciones negras y rojizas; límite abrupto y ondulado.
- **2Cg** (34-74 cm): Color 5Y 4/2; textura areno-limoso con gravas; estructura masiva; presencia de moteados escasos; límite abrupto y suave.
- **2Cg2** (> 74 cm): Color 5Y 4/1; textura areno-limosa con conchillas enteras; estructura masiva; limita con el NF.

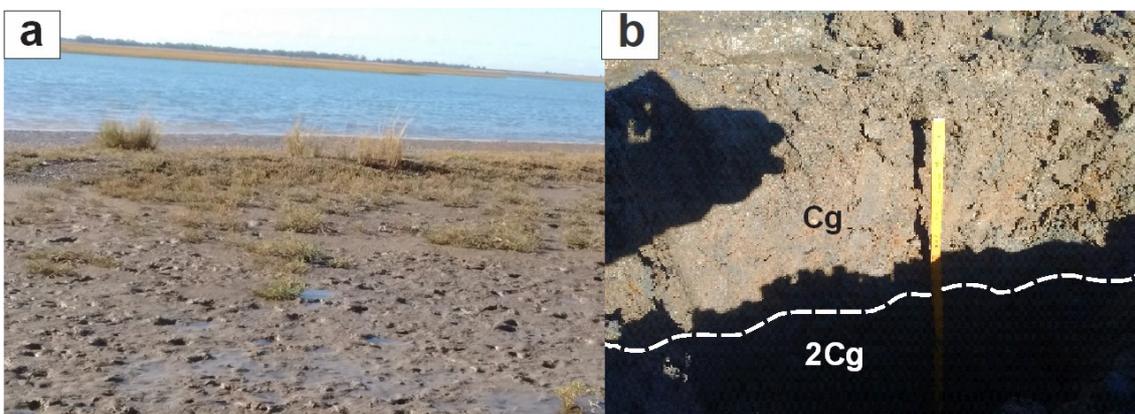


Figura 4.9. a. Marisma baja en Planicie mareal fangosa. b. Calicata de MSB-38.

- Perfil MSB-39

Desarrollado en la margen Este del canal Jabalí y en la marisma baja, colonizado por *Sarcocornia perennis* (Figura 4.10).

- **C** (0-11 cm): Color 10YR 4/3; textura limo-arcillosa; estructura laminar; presencia de moteados escasos; límite abrupto y suave.
- **2Cg** (> 11 cm): Color 10YR 3/2t; textura limo-arenosa; estructura masiva; presencia de moteados escasos; limita con el NF.

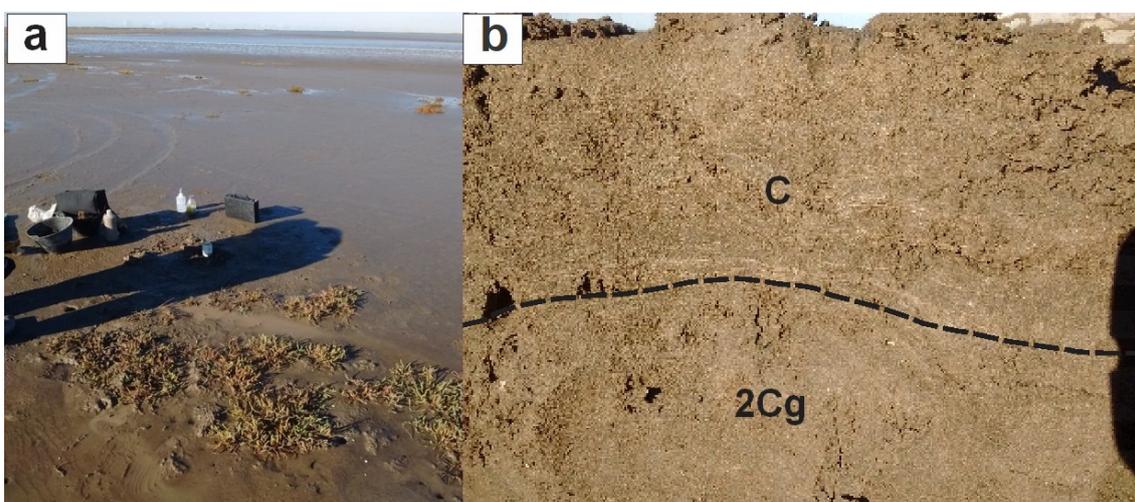


Figura 4.10. a. Marisma baja en Planicie mareal fangosa. b. Calicata de MSB-39.

- Perfil MSB-40

Está posicionado en la margen Este del canal Jabalí y en la marisma alta (Fig. 4.11), colonizado por *Sarcocornia perennis*, *Limonium brasiliense* y *Spartina densiflora*.

- **A** (0-20 cm): Color 10YR 4/2; textura arenosa con gravas; estructura masiva; raíces comunes; límite difuso.
- **2Cg** (> 20 cm): Color 10YR 3/2; textura arenosa con gravas y conchilla; estructura masiva; presencia de moteados escasos; limita con el nivel freático.

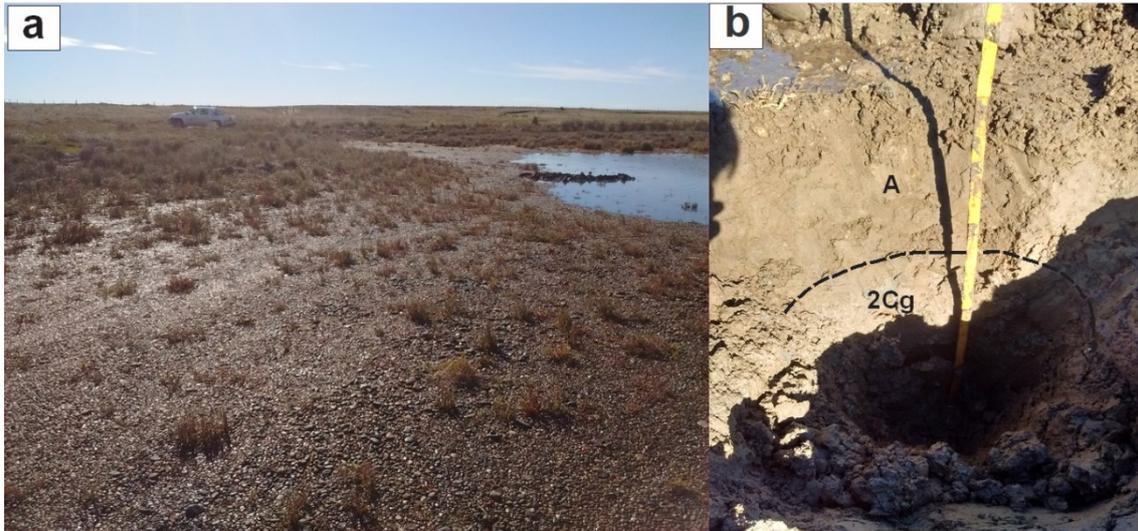


Figura 4.11. a. Marisma alta en Planicie mareal fangosa. b. Calicata de MSB-40.

Transecta 3

Se encuentra en proximidad al puente de acceso al pueblo de Bahía San Blas, estando emplazada en un ambiente de Planicie fangosa hacia las márgenes y sobre una gran barra de arena en la región central (Figura 4.12). Para una mejor descripción fue dividida en dos sectores: occidental y oriental. En el primero se hallan los perfiles MSB-10 y MSB-11 hacia el Oeste y MSB-13 y MSB-12 al Este. Y en el sector oriental están alineados de Oeste a Este los perfiles MSB-14, MSB-24 y MSB-25.

En el sector occidental la marisma alta los suelos son mayormente de clase textural franco arenosa, aumentando la proporción de arcilla y restos de valvas de moluscos hacia el Oeste. A ambas márgenes, se aprecian eflorescencias salinas en los horizontes superficiales de la marisma alta. En la marisma baja prevalece la textura arenosa con fragmentos de conchilla, volviéndose más arcillosa en los segmentos superficiales de la margen Este. En cuanto a los rasgos redoximórficos, son comunes los colores gley y los moteados, estando estos últimos más concentrados en la marisma alta.

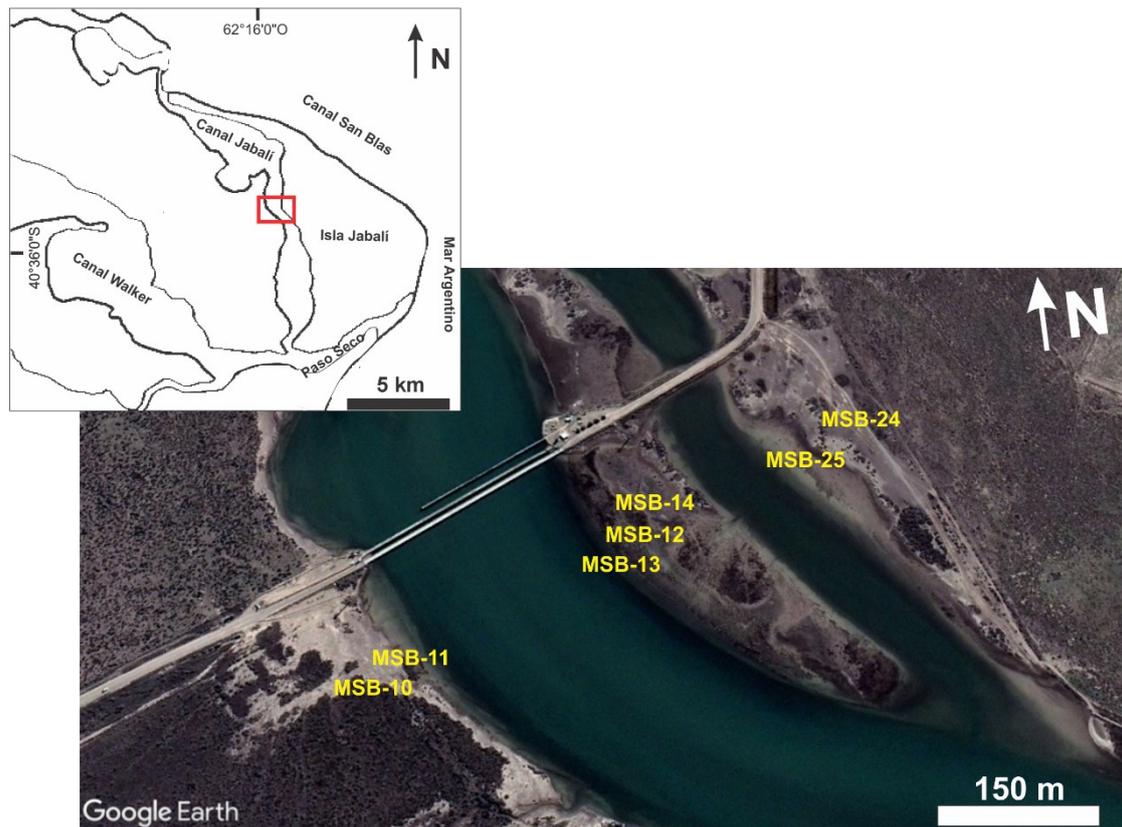


Figura 4.12. Ubicación de los perfiles de la transecta 3.

- Perfil MSB-10

Pertenece al sector de marisma alta en la margen Oeste del canal Jabalí y rodeado de comunidades de *Sarcocornia perennis* (Figura 4.13).

- **Az** (0-9 cm): Color 10YR 4/4; textura franco arenosa; estructura laminar; consistencia dura; límite abrupto y suave; costras salinas en superficie, límite abrupto y suave.
- **2C** (9-39 cm): Color 10YR 4/3; textura arcillo-limosa con escasa conchilla; estructura masiva; límite gradual y suave.
- **3C1** (39-140 cm): Color 10YR 3/3; textura franco arcillosa con abundante conchilla; estructura masiva; límite abrupto y suave.
- **3Cg2** (> 140 cm): Color 10YR 4/2; textura franco arcillosa con abundante conchilla; estructura masiva; rasgos redoximórficos comunes; límite abrupto y suave.

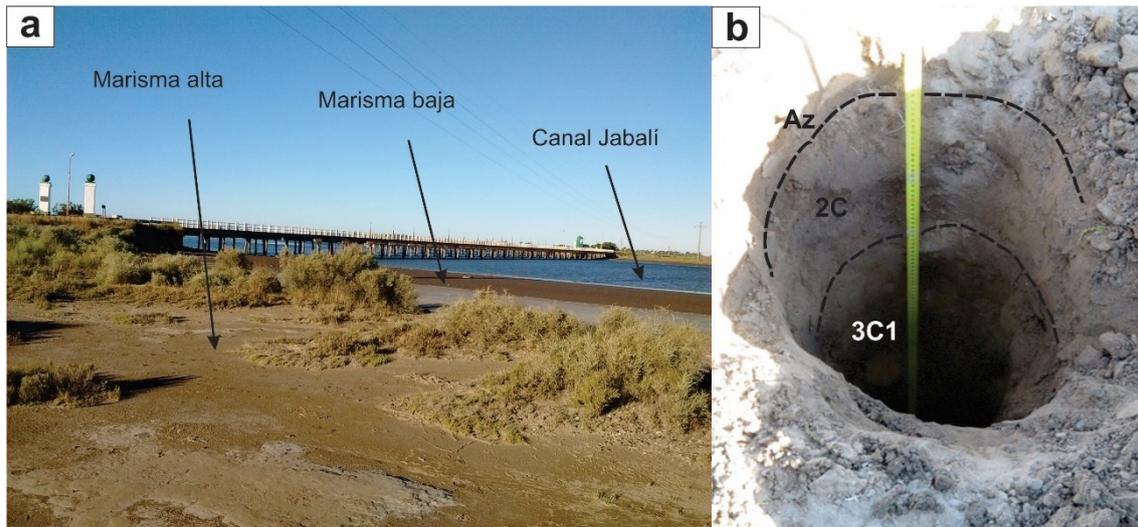


Figura 4.13. a. Margen Oeste del canal Jabalí vecino al puente de acceso. b. Vista del perfil MSB-10.

- Perfil MSB-12

Situado en la zona central de la transecta, sobre un ambiente de marisma alta, generado en una gran barra que interrumpe el curso del canal Jabalí (Figura 4.14). Se reconoció una asociación vegetal que incluye *Sarcocornia perennis*, *Limonium brasiliense* y *Spartina densiflora*.

- **A** (0-14 cm): Color 10YR 4/2; textura franco limosa; estructura masiva; raíces abundantes, medianas y finas; límite gradual y suave.
- **C** (14-40 cm): Color 10YR 4/2; textura franca; estructura masiva; raíces escasas, medianas y muy finas; rasgos redoximórficos escasos; límite abrupto y suave.
- **2Cg1** (40-71 cm): Color 10YR 3/3; textura franco arcillo-arenosa; estructura masiva; raíces escasas y muy finas; moteados negros y pardo-rojizos abundantes; zona de alternancia del nivel freático; límite gradual y suave.
- **2Cg2** (> 71 cm): Color 2,5Y 3/2; textura franco arcillo-arenosa; estructura masiva; moteados negros y pardos rojizos abundantes; saturado y totalmente reducido.

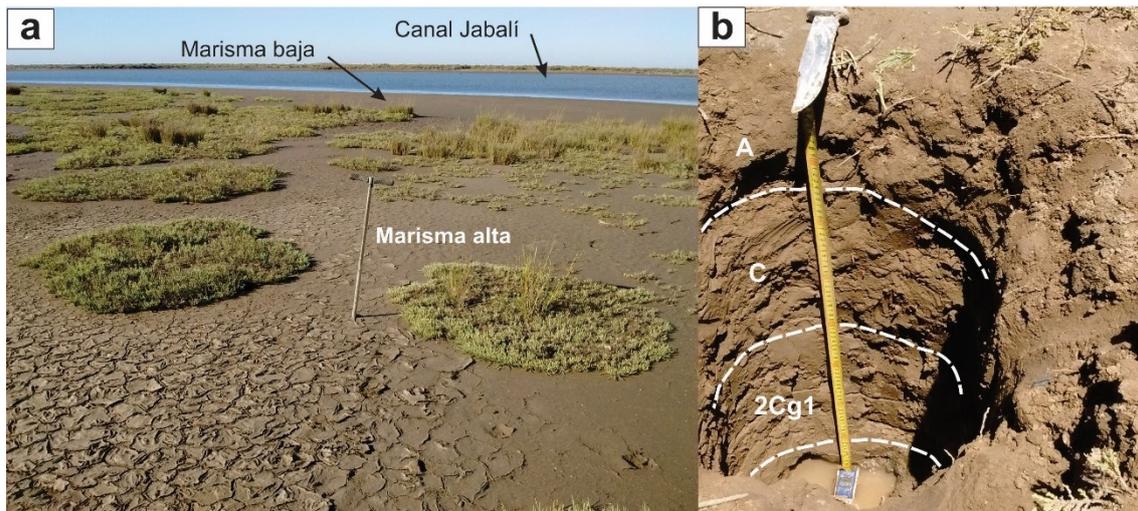


Figura 4.14. a. Marisma en la zona central del canal Jabalí. b. Perfil MSB-12.

- Perfil MSB-13

A corta distancia del perfil anteriormente descrito, pero en una posición que lo ubica en la marisma baja con típica vegetación de *Spartina alterniflora* (Figura 4.15).

- **Ag** (0-8 cm): Color 10YR 4/2; textura arcillosa; estructura masiva; raíces abundantes, medianas y finas, límite abrupto y suave.
- **2Cg1** (8-42 cm): Color 10YR 4/2; textura arcillosa; estructura masiva; rasgos redoximórficos asociados a raíces; cercano al nivel freático.
- **2Cg2** (> 42 cm): Color 10YR 4/2; textura franco arcillo-arenosa; estructura masiva; horizonte reducido, bajo el nivel freático.

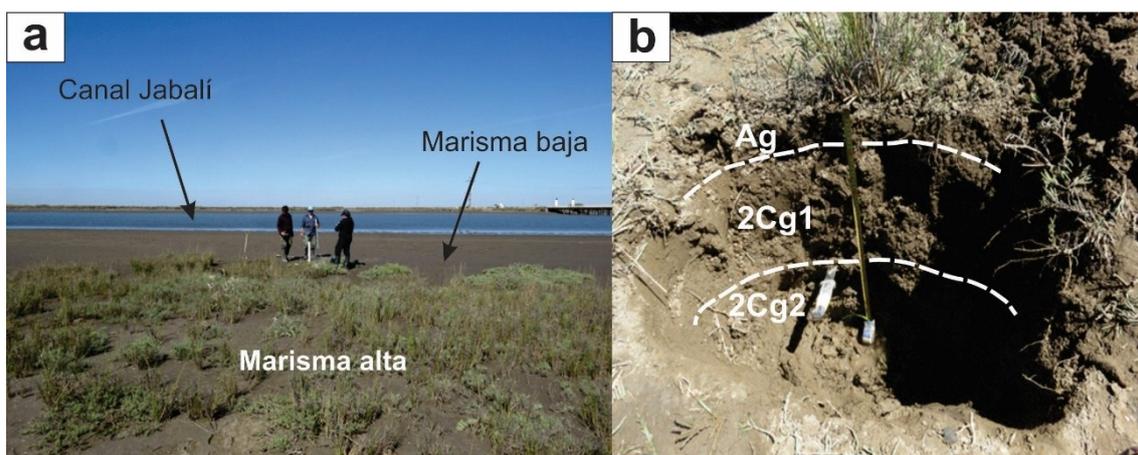


Figura 4.15. a. Realización de la calicata del perfil MSB-13. b. Detalle de los horizontes en la calicata.

Por otro lado, en la margen Este la marisma alta posee tendencia a aumentar el tamaño de grano a medida que aumenta la profundidad, comenzando con una textura arcillo-limosa y culminando con sedimentos netamente arenosos con conchilla. En la margen opuesta, la marisma baja muestra la misma tendencia conforme a la

profundidad. Esto difiere del perfil MSB-24 de la marisma alta, cuya textura es más heterogénea con variedades de la clase textural franco en todo el perfil. Llama la atención en este último, la presencia de conchillas en casi todos los tramos, particularmente en el más profundo, donde además aparecen gravas.

- Perfil MSB-14

Vinculado a la barra central donde se realizaron las calicatas MSB-12 y MSB-13, aunque en el sector más alto de dicha barra. Se observaron algunos individuos de *Spartina densiflora*, indicadores de marisma alta.

- **A** (0-8 cm): Color 10YR 4/2; textura franco arenosa; estructura masiva; raíces comunes; límite abrupto y suave.
- **2Cg1** (8-53cm): Color 10YR 4/3; textura franco arcillosa; estructura masiva; moteados rojizos comunes; rasgos radiculares; límite transicional y suave.
- **2Cg2** (53-100 cm): Color (10YR 3/3); franco arcilloso, grano suelto; raíces escasas, finas a muy finas; límite abrupto y suave.
- **2Cg3** (> 100): Color 10YR 3/1; textura franco arcillosa; estructura masiva; rasgos redoximórficos abundantes; horizonte reducido, bajo el nivel freático.

- Perfil MSB-24

Se desarrolla en la marisma alta de la margen Este del canal de marea, en el punto de mayor altitud de la transecta (Figura 4.16) con parches de *Sarcocornia perennis*.

- **A** (0-15 cm): Color 10YR 5/3; textura arenosa; estructura masiva; raíces abundantes, finas a muy finas, límite gradual y suave.
- **C1** (15-35cm): Color 10YR5/3; arenoso; laminar; raíces escasas; rasgos redoximórficos asociados a las raíces, límite gradual y suave.
- **C2** (35-45cm): Color 2,5Y 4/2; textura arenosa con fragmentos de conchillas; escasas láminas arcillosas; rasgos redoximórficos escasos, límite gradual y suave.
- **C3** (> 53 cm): Color 10YR 4/2; textura arenosa con fragmentos abundantes de conchilla; estructura masiva.

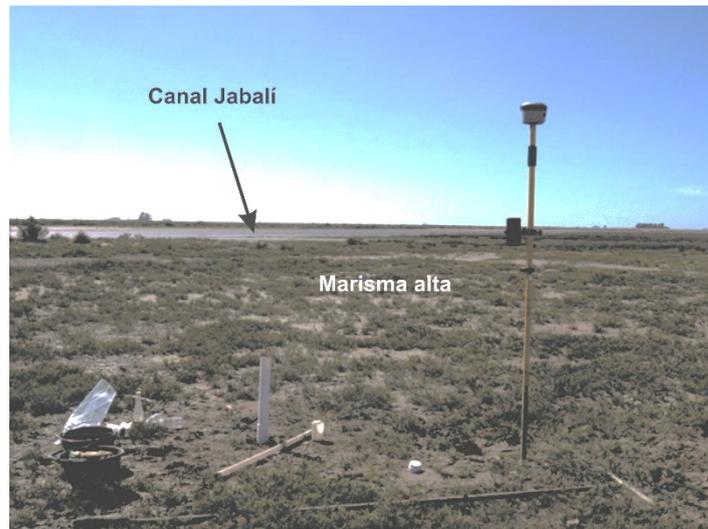


Figura 4.16. Ubicación del perfil MSB-24 en la margen Este del canal Jabalí.

Transecta 4

Al Sur del puente y sobre la margen Este del canal Jabalí, se halla esta transecta posicionada en una Barra arenosa lateral. Está conformada por los perfiles MSB-41 en la marisma baja y MSB-42 en la marisma alta (Figura 4.17). Debido a que la marea se encontraba subiendo en el momento del muestreo no pudieron efectuarse calicatas, por lo que los perfiles fueron descritos a partir de perforaciones.

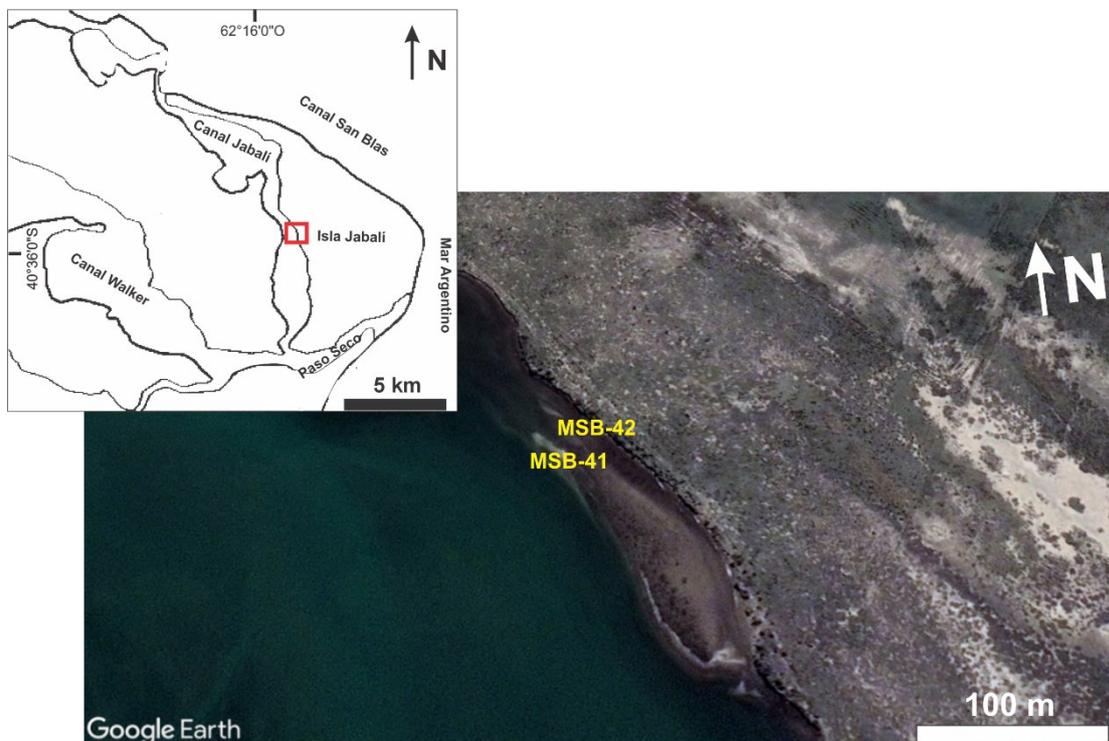


Figura 4.17. Ubicación de los perfiles de la transecta 4.

En el perfil MSB-41 la vegetación es de *Spartina alterniflora* y *Sarcocornia perennis* (Figura 4.18), mientras que los horizontes superficiales son de textura fina, volviéndose arenosos a partir de los 30 cm y conteniendo restos conchiles en moderada cantidad hasta que en profundidad la textura se torna franco arenosa. En cambio, el perfil MSB-42 no presenta vegetación posiblemente por ubicarse en una zona de circulación de vehículos. Texturalmente es predominantemente arenoso con abundante conchilla, apareciendo texturas franco arenosas en los horizontes más profundos, coincidiendo con el perfil anterior.



Figura 4.18. Vista de la transecta 4. a. Marisma baja de la barra arenosa. b. Marisma alta.

Transecta 5

Trazada en el tramo Sur del canal Jabalí, engloba los perfiles MSB-29 y MSB-30 en la margen Oeste y en la margen Este los perfiles MSB-21 y MSB-22 (Figura 4.19). En esta transecta no pudieron efectuarse calicatas por las condiciones meteorológicas y mareales, por lo tanto, la descripción de los perfiles se realizó en base a información de las perforaciones.

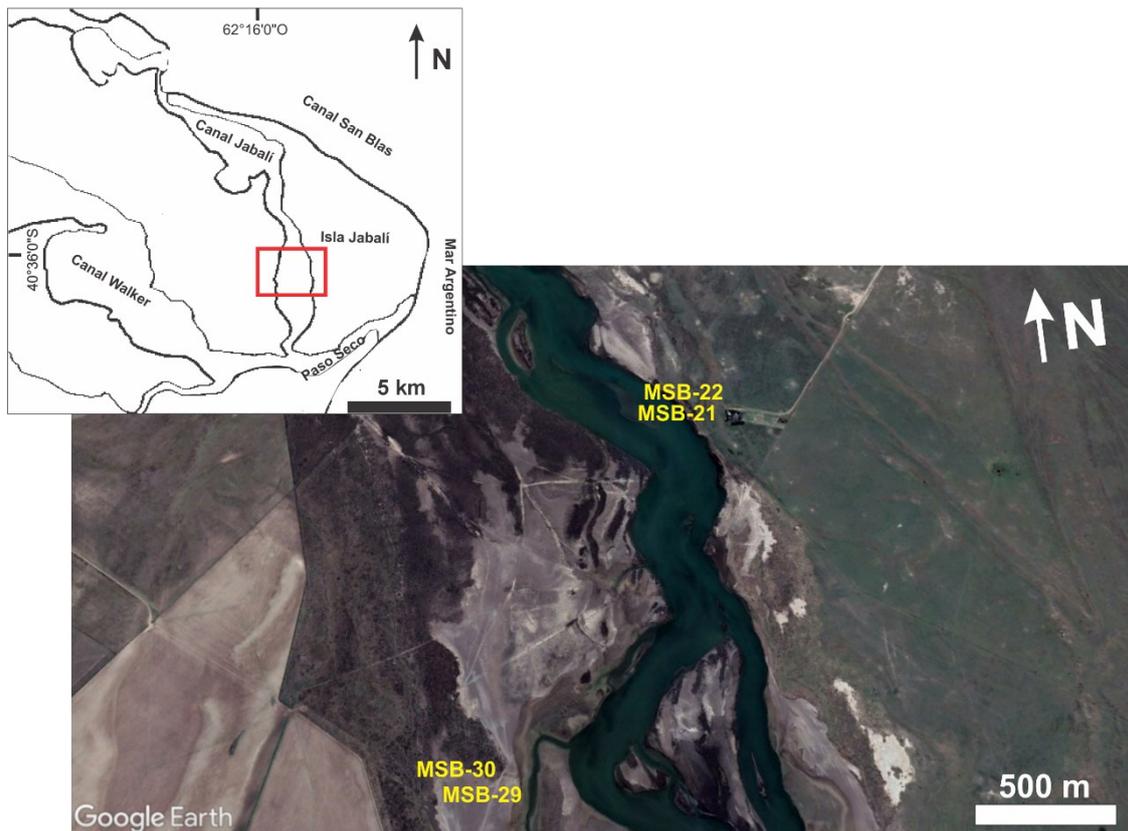


Figura 4.19. Ubicación de los perfiles de la transecta 5.

Se desarrolla exclusivamente en un área de marisma alta en la margen Oeste, asociada a una extensa Planicie fangosa con *Sarcocornia perennis* distribuida en parches (Figura 4.20). Los sedimentos son mayormente franco limosos, volviéndose en profundidad más gravosos y con fragmentos conchiles. Por su parte, los perfiles de la margen Este permiten una diferenciación en marisma alta y baja en función del género *Spartina*, registrándose la especie *Sp. densiflora* en el sector alto y *alterniflora* en el bajo (Figura 15). Sendos perfiles están compuestos únicamente por arena, estando su origen vinculado a la existencia de una Barra arenosa en este sector.

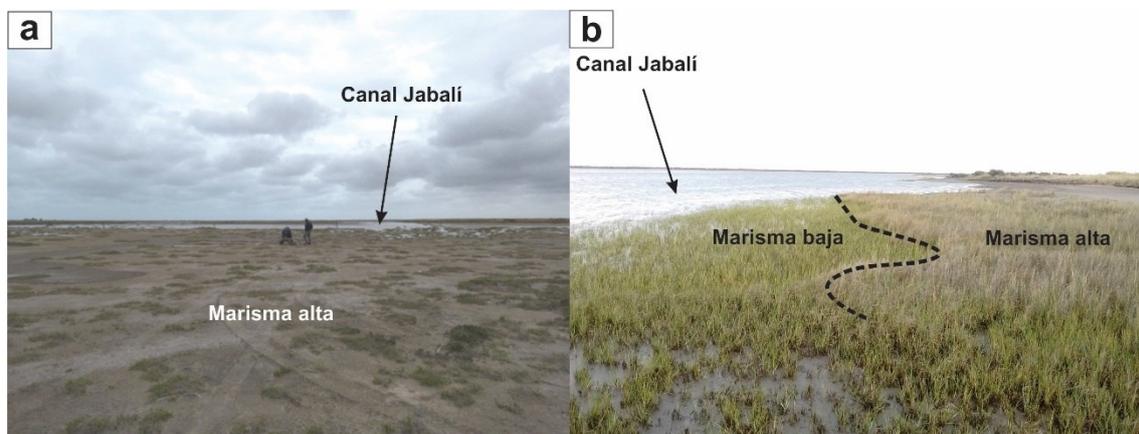


Figura 4.20. a. Marisma en planicie fangosa en la margen Oeste del canal Jabalí. b. Marisma alta y baja sobre barra arenosa en la margen Este del mismo canal.

Transecta 6

En el tramo más austral del canal Jabalí, esta transecta se asocia a Cordones gravosos pleistocenos en la margen Oeste y a cordones holocenos en la margen Este. Los perfiles que integran esta transecta son MSB-43 y MSB-44 al Oeste, mientras que al Este están MSB-45 y MSB-46 (Figura 4.21).

En la primera calicata, la marisma alta es prácticamente gravosa con algo de arena en superficie y conchilla en los horizontes más profundos. Por su parte, la marisma baja también tiene grava en todo el perfil, pero vinculada a texturas franco arenosas. Los rasgos redoximórficos se encuentran sólo en esta última. En cambio, la margen Este está dominada por suelos netamente gravosos con gleización en profundidad y moteados en la marisma alta.

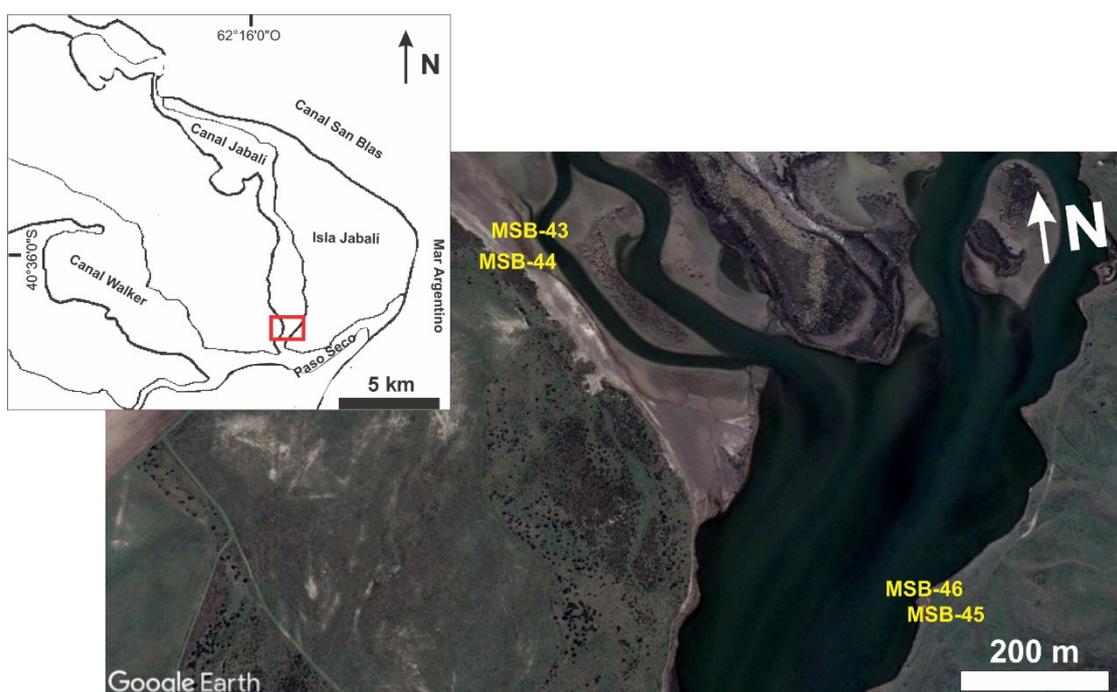


Figura 4.21. Ubicación de los perfiles de la transecta 6.

- Perfil MSB-43

Se encuentra en la margen Oeste del canal Jabalí y en la marisma alta colonizada por *Sarcocornia perennis* (Figura 4.22).

- **C** (0-9 cm): Color 10YR 5/6; textura limo-arcillosa con gravas y conchilla; estructura laminar; presencia de moteados abundantes; límite abrupto y suave.
- **2C** (9-10 cm): Color 10YR 5/4; textura arenosa; estructura masiva; presencia de moteados abundantes; límite gradual y suave.
- **2Cg** (10-18 cm): Color 10YR 4/2; textura arenosa con conchilla; estructura masiva; presencia de moteados comunes; límite gradual y suave.

- **3Cg (> 18 cm)**: Color 10YR 3/2; textura gravosa con matriz limo-arenosa; estructura masiva; limita con el nivel freático.



Figura 4.22. a. Marisma baja en Cordones gravosos antiguos. b. Calicata de MSB-43.

- Perfil MSB-44

Se halla hacia la margen Oeste del canal Jabalí y en la marisma alta (Figura 4.23), ocupada por *Sarcocornia perennis* y *Limonium brasiliense*.

- **Az (0-5 cm)**: Color 10YR 5/6; textura limo-arenosa con gravas; estructura masiva; raíces comunes; límite abrupto y suave
- **2C (5-22 cm)**: Color 10YR 5/4; textura limo-arenosa con gravas con lentes de conglomerado; estructura masiva; raíces escasas; límite gradual y suave.
- **3C (> 22 cm)**: Color 10YR 5/4; textura gravosa con matriz arenosa y conchilla; estructura masiva; limita con el nivel freático.



Figura 4.23. a. Marisma alta en Cordones gravosos antiguos. b. Calicata de MSB-44.

- Perfil MSB-45

Su posición es en la margen Este del canal Jabalí y en la marisma alta, vegetada por *Sarcocornia perennis*, *Spartina densiflora* y *Limonium brasiliense* (Figura 4.24).

- **A** (0-12 cm): Color 10YR 5/3; textura gravosa con matriz limo-arcillosa; estructura masiva; límite gradual y suave.
- **B** (12-35 cm): Color 10YR 5/3; textura gravosa con matriz arcillosa; estructura masiva; presencia de moteados rojizos abundantes; límite gradual.
- **2Cg** (> 35 cm): Color 10YR 3/2; textura gravosa con matriz arcillosa; estructura masiva; limita con el nivel freático.

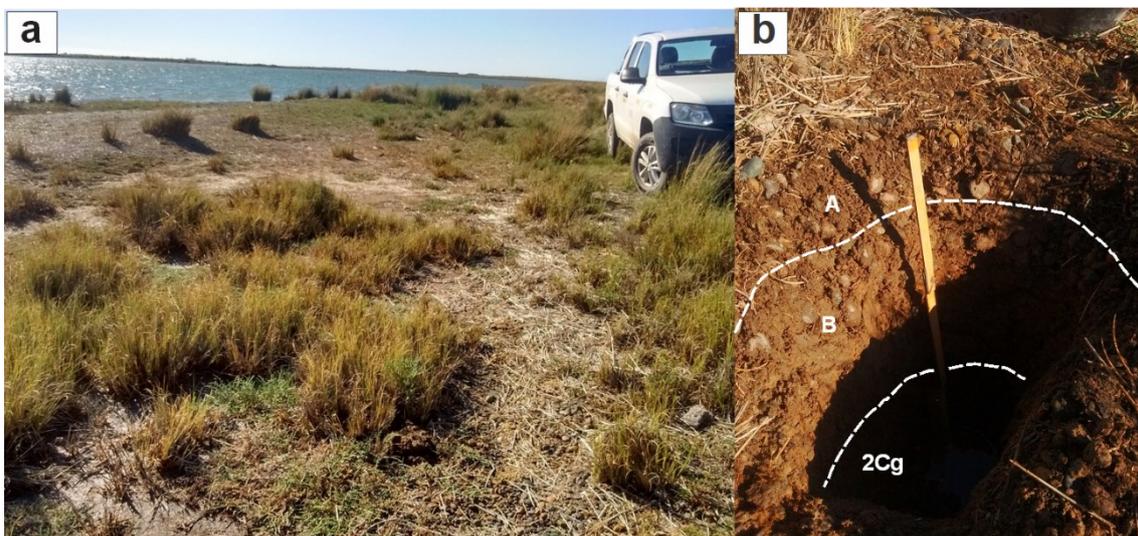


Figura 4.24. a. Marisma alta en Cordones gravosos modernos. b. Calicata de MSB-45.

- Perfil MSB-46

Ubicado en la margen Este del canal Jabalí y en la marisma baja, con presencia de *Sarcocornia perennis* y *Spartina alterniflora* (Figura 4.25).

- **A** (0-4 cm): Color 10YR 4/4; textura gravosa; estructura masiva; se reconocen raíces comunes y finas; límite gradual y ondulado.
- **C** (> 4 cm): Color 10YR 4/3; textura gravosa; raíces escasas; estructura masiva; limita con el nivel freático.



Figura 4.25. a. Marisma alta en Cordones gravosos modernos. b. Calicata de MSB-46.

Transecta 7

Emplazada en el sector Este de la región de Paso Seco y perteneciente a una Planicie mareal arenosa, se halla compuesta por los perfiles MSB-47 y MSB-48 en la margen Noroeste y por MSB-49 y MSB-50 en la margen Sudeste, estos últimos en cercanía a un pequeño curso conectado al canal Jabalí (Figura 4.26).

La margen Noroeste presenta horizontes arenosos alternados con franco-arenosos y estructura laminar. Tanto la marisma alta como la baja, tienen moteados que pasan a colores gley al profundizarse en el perfil. La margen Sudeste está conformada por perfiles más arenosos con moteados cercanos a la superficie. En la marisma baja también existen rasgos de gleización en los niveles más profundos y matas microbianas en superficie.

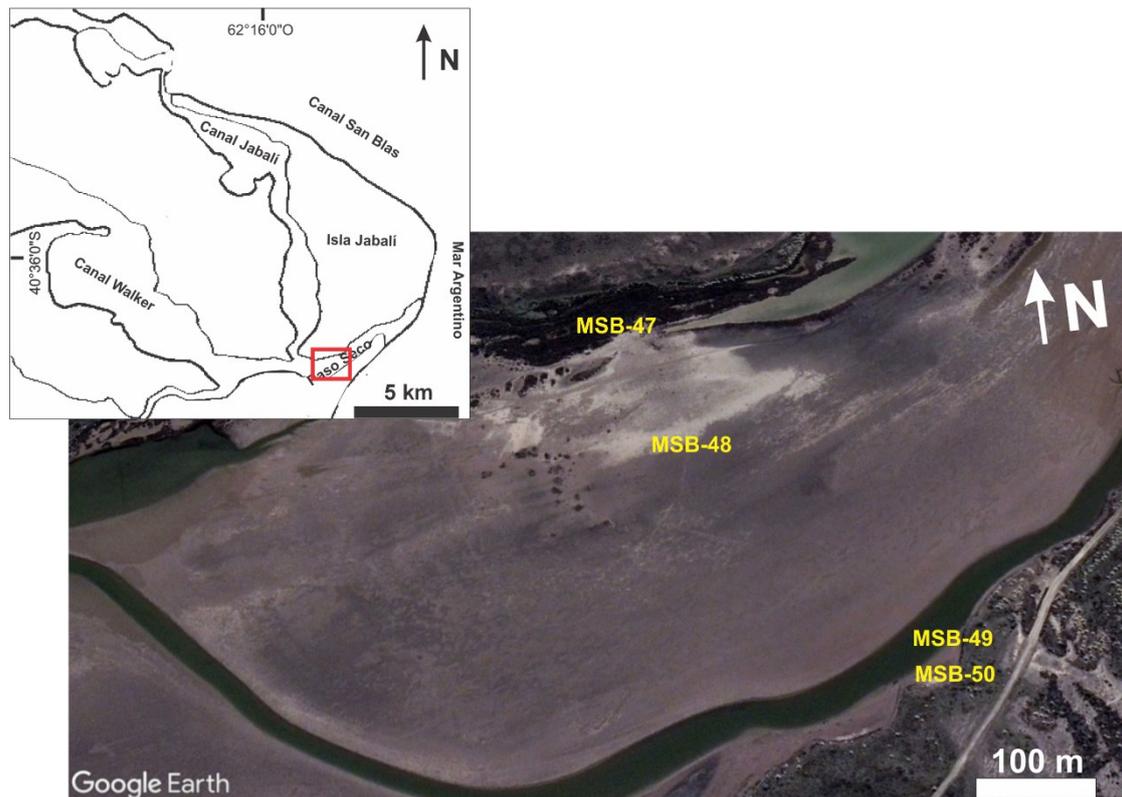


Figura 4.26. Ubicación de los perfiles de la transecta 7.

- Perfil MSB-47

Descrito en la marisma alta con vegetación de *Sarcocornia perennis*, *Spartina alterniflora* y *Limonium brasiliense* (Figura 4.27).

- **Az** (0-5 cm): Color 10YR 5/2; textura limo-arcillosa; estructura laminar; se reconocen raíces abundantes, comunes y finas; límite gradual y suave.
- **C** (5-25 cm): Color 10YR 4/2; textura arenosa y arcilla alternadas; estructura laminar; presencia de moteados; se reconocen raíces finas, límite abrupto y ondulado.
- **2Cg** (> 25 cm): Color 10YR 3/1; textura arenosa; estructura masiva; limita con el nivel freático.

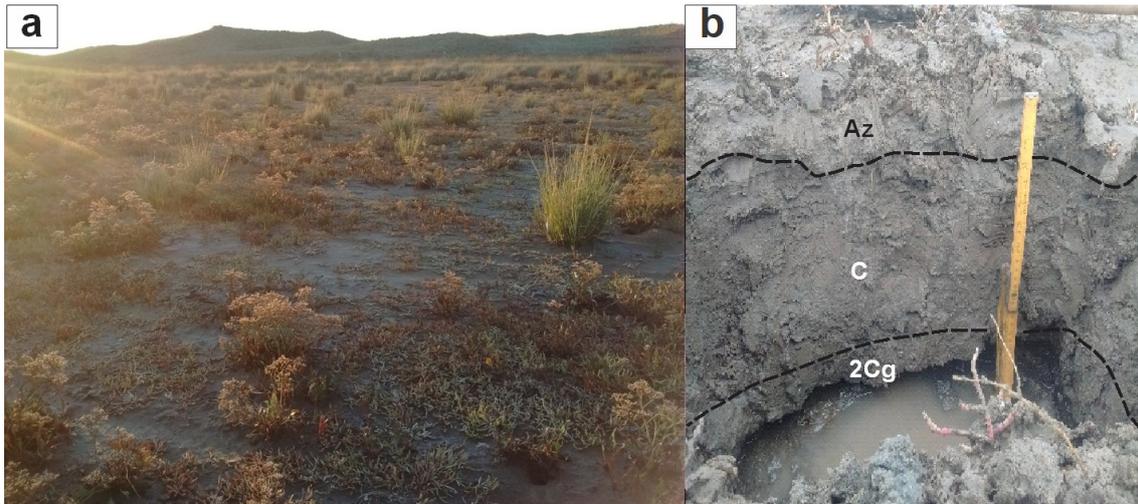


Figura 4.27. a. Marisma alta en Planicie mareal arenosa. b. Calicata de MSB-47.

- Perfil MSB-48

En el sector de marisma baja (Figura 4.28), estando colonizada exclusivamente por *Sarcocornia perennis*.

- **Az** (0-9 cm): Color 10YR 4/2; textura arenosa; estructura laminar débil; se reconocen raíces escasas; límite gradual.
- **C** (9-16 cm): Color 10YR 4/2; textura arenosa; estructura laminar muy fina y débil; se reconocen raíces escasas; materia orgánica en descomposición, límite gradual y suave.
- **C2** (16-31 cm): Color 10YR 4/2; textura arenosa y arcillosa alternadas; estructura laminar muy fina y fuerte; presencia de moteados abundantes y gruesos; se reconocen raíces escasas; límite abrupto y ondulado.
- **2Cg** (> 31 cm): Color 10YR 3/2; textura arenosa; estructura laminar fina a media; limita con el nivel freático.

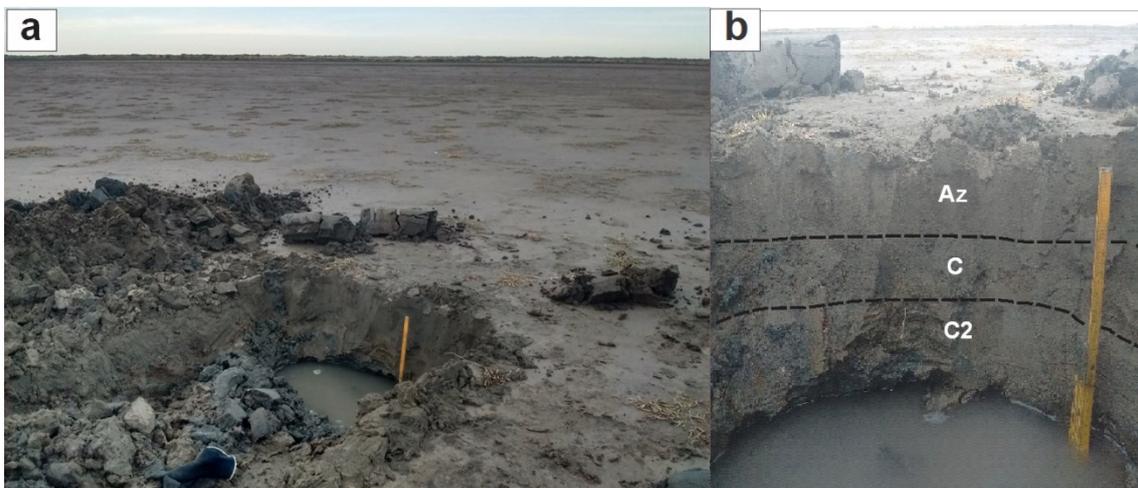


Figura 4.28. a. Marisma baja en Planicie mareal arenosa. b. Calicata de MSB-48.

- Perfil MSB-49

Forma parte de la marisma baja con halófitas como *Sarcocornia perennis* y *Spartina alterniflora* (Figura 4.29).

- **Az** (0-9 cm): Color 10YR 4/2; textura arcillo-arenosa; estructura granular débil; presencia de moteados; límite neto; contiene matas microbianas, límite abrupto y suave.
- **Cg** (9-30 cm): Color 10YR 3/3; textura arcillo-arenosa; estructura laminar; límite abrupto y suave
- **2Cg** (> 31 cm): Color 10YR 3/2; textura arcillo-arenosa con grava; estructura masiva; limita con el NF.

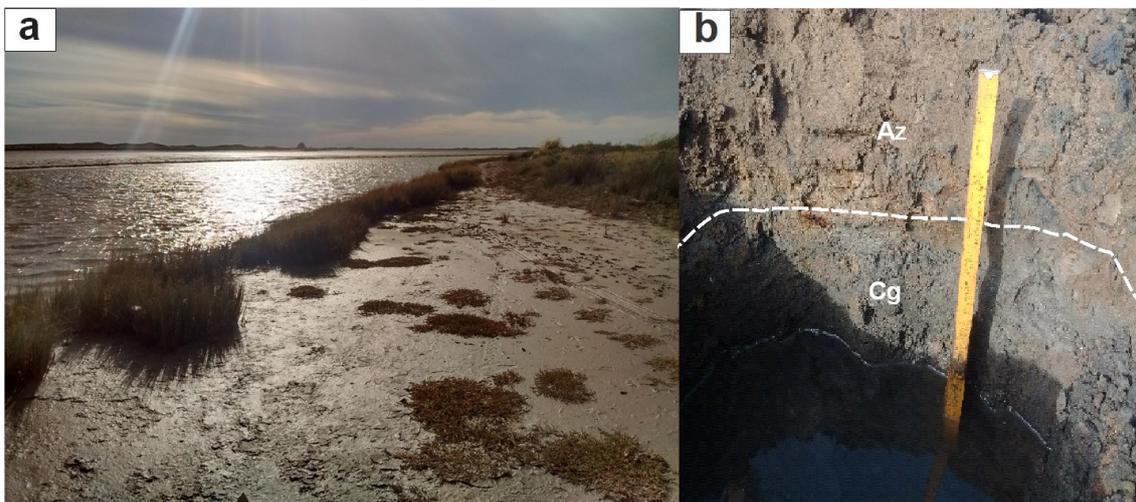


Figura 4.29. a. Marisma baja en Planicie mareal arenosa. b. Calicata de MSB-49.

- Perfil MSB-50

Pertenece a la marisma alta y se encuentra colonizado predominantemente por *Sarcocornia perennis* (Figura 4.30).

- **A** (0-2 cm): Color 10YR 4/3; textura arenosa con grava; estructura masiva; límite gradual.
- **C** (>2 cm): Color 10YR 4/2; textura arenosa; estructura masiva; presencia de moteados; limita con el nivel freático.



Figura 4.30. Marisma alta en Planicie mareal arenosa y calicata de MSB-50.

Transecta 8

También la Planicie mareal arenosa, pero en el sector Oeste, se caracteriza por la estructura laminar en gran parte de los perfiles. Éstos se encuentran representados por MSB-51 y MSB-52 en la margen Noroeste y hacia la margen Sudeste están MSB-53 y MSB-54 (Figura 4.31).

En la margen Noroeste la marisma alta se compone de suelos finos en los tramos superiores, mientras la marisma baja alterna entre capas arenosas y franco-arenosas. Los moteados se presentan hacia el techo de los perfiles, prevaleciendo los colores gley hacia la base. En la margen Sudeste las texturas son arenosas a franco-arenosas con participación de gravas, especialmente en la marisma alta donde se combinan con conchillas. Resalta la ausencia de rasgos redoximórficos.

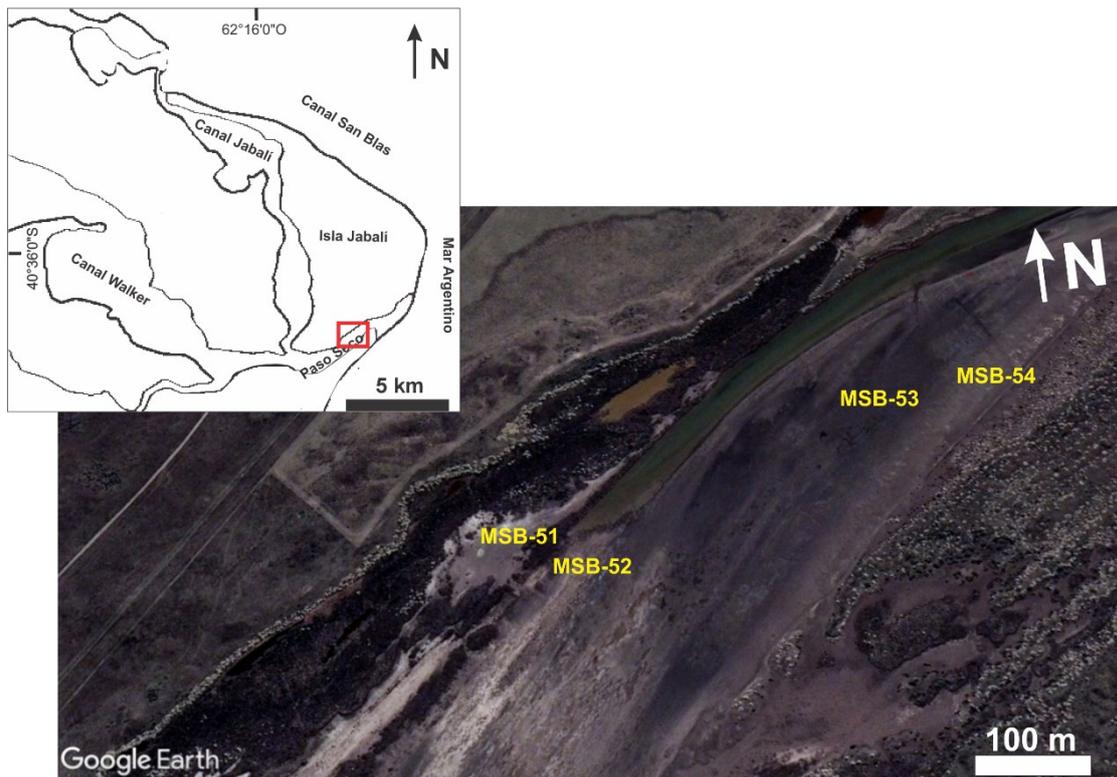


Figura 4.31. Ubicación de los perfiles de la transecta 8.

- Perfil MSB-51

En el sector elevado de la marisma con vegetación de *Sarcocornia perennis*, *Spartina Densiflora* y *Limonium Brasilense* (Figura 4.32).

- **Az** (0-1 cm): Color 7,5YR 4/4; textura arcillosa; estructura laminar; se reconocen raíces comunes; límite neto.
- **C** (1-2 cm): Color 7,5YR 3/4; textura arcillosa; estructura laminar; mayor resistencia; límite neto.
- **2C** (2-30 cm): Color 7,5YR 3/4; textura arcillosa; estructura laminar débil; moteados gruesos y abundantes; límite abrupto y ondulado.
- **3Cg** (> 30 cm): Color 5Y 4/2; textura areno-arcillosa; estructura masiva; limita con el nivel freático.

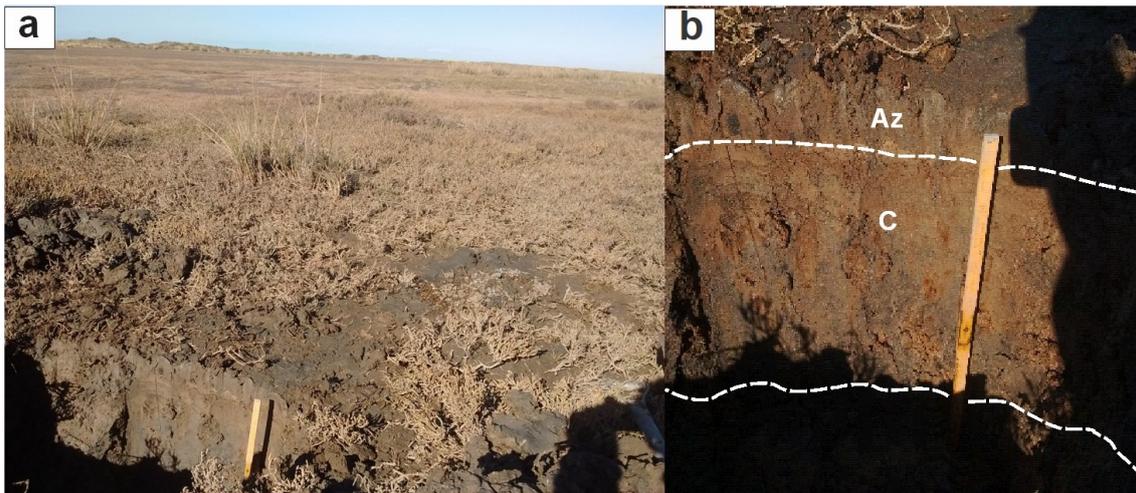


Figura 4.32. a. Marisma alta en Planicie mareal arenosa. b. Calicata de MSB-51.

- Perfil MSB-52

Desarrollado en la parte alta de la marisma, estando vegetado únicamente por *Sarcocornia perennis* (Figura 4.33).

- **Az** (0-1 cm): Color 10YR 4/2; textura arenosa; estructura laminar; raíces comunes; límite abrupto y suave
- **2Ag** (1-3 cm): Color 5Y 2,5/1; textura arenosa; estructura laminar; raíces escasas; límite neto.
- **2C** (3-25 cm): Color 10YR 4/3; textura arenosa; estructura laminar; moteados y colores gley en alternancia; límite neto.
- **2Cg** (> 25 cm): Color 5Y 4/2; textura arenosa; estructura laminar débil; limita con el nivel freático.

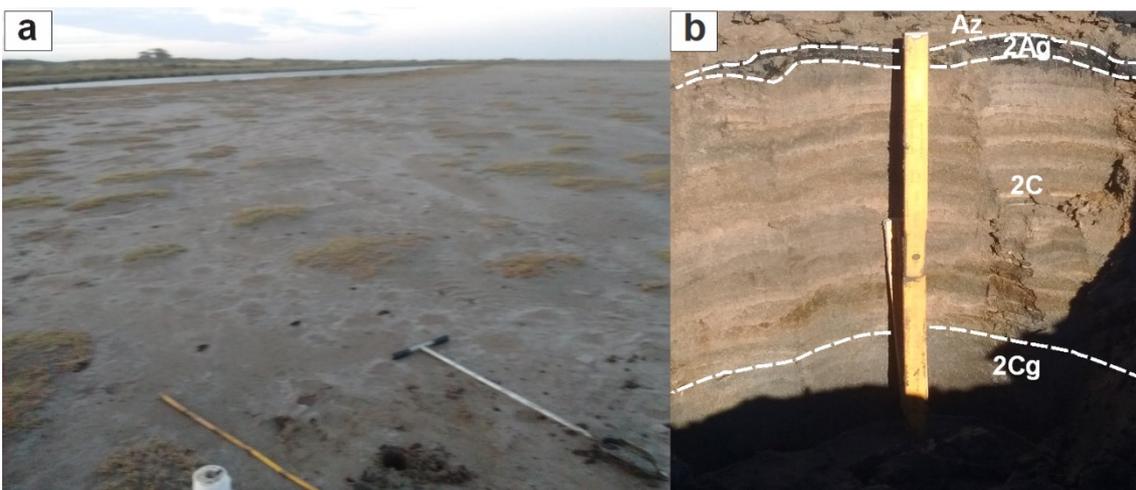


Figura 4.33. a. Marisma baja en Planicie mareal arenosa. b. Calicata de MSB-52

- Perfil MSB-53

Descrito en la marisma baja, donde sólo se encontraron parches de *Sarcocornia perennis* (Figura 4.34).

- **Az** (0-2 cm): Color 10YR 5/3; textura arenosa; estructura masiva; raíces comunes; límite gradual. Contiene matas microbianas y eflorescencias salinas (z), límite abrupto y suave.
- **C** (2-61 cm): Color 10YR 3/1; textura arenosa con cierta proporción de grava; estructura laminar fuerte. Coloración oscura con una fina capa blanquecina, límite abrupto y suave.
- **2C** (61-93 cm): Color 10YR 4/2; textura arenosa; estructura laminar débil; límite abrupto y ondulado.
- **3Cg** (> 93 cm): Color 10YR 3/2; textura arenosa; estructura masiva; limita con el nivel freático.

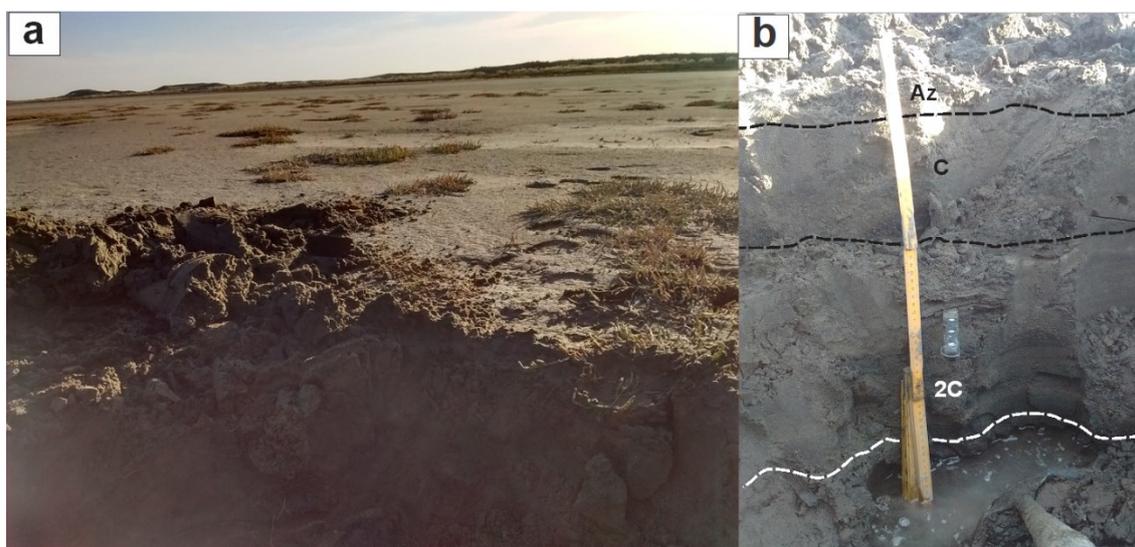


Figura 4.34. a. Marisma baja en Planicie mareal arenosa. b. Calicata de MSB-53

- Perfil MSB-54

Calicata realizada en la marisma alta (Figura 4.35) con vegetación representada por *Sarcocornia perennis* y *Limonium brasiliense*.

- **Az** (0-7 cm): Color 10YR 5/3; textura arenosa; estructura laminar débil; raíces comunes; límite gradual y suave.
- **C** (7-45 cm): Color 10YR 4/3; textura arenosa con baja proporción de grava; estructura laminar media a fina; raíces escasas; límite abrupto y ondulado.
- **2C** (45-51 cm): Color 10YR 4/3; textura arenosa con alta proporción de grava; estructura masiva; límite difuso a ondulado.

- **3C** (51-93 cm): Color 10YR 4/2; textura arenosa; estructura laminar; incluye capa endurecida, límite abrupto y ondulado.
- **4Cg** (> 93 cm): Color 10YR 3/1; textura arenosa; estructura laminar con capas anóxicas y otras que no; limita con nivel freático.



Figura 4.35. Marisma alta en Planicie mareal arenosa y calcicata de MSB-54

En términos generales los perfiles poseen poco desarrollo, pudiendo ser clasificados a nivel de Orden como Entisoles. Además, los rasgos redoximórficos como moteados y colores gley son una característica común en estos suelos y al integrar la información de las perforaciones aparecen diferencias entre la marisma alta y la baja.

Por un lado, en la marisma alta prevalecen los moteados pardo-rojizos y negros (Figura 4.36), ocasionalmente representando rizoconcreciones por su asociación con raíces. El color de este sector de la marisma abarca desde el castaño grisáceo muy oscuro hasta el gris castaño claro (matiz 10YR con luminosidad e intensidad de 3/2 a 6/2, respectivamente). Por otra parte, la marisma baja presenta mayormente colores que varían entre gris oliva oscuro y gris claro (matiz 5Y 3/2 a 2,5Y 7/2), comúnmente asociados al proceso de gleyzación que deriva en luminosidad igual o mayor a 4 e intensidad igual o menor a 2 (Figura 4.36). Es importante resaltar que la presencia de moteados en la marisma alta demuestra la existencia de zonas de concentraciones redox, mientras que la gleyzación en la marisma baja es típica de zonas de empobrecimiento redox, indicadoras de ambiente reductor.

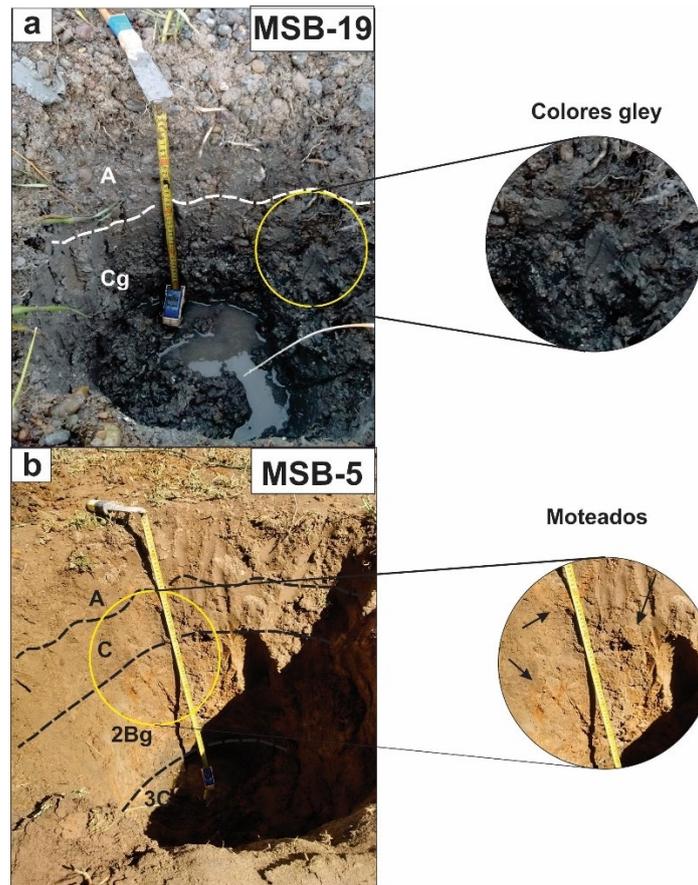


Figura 4.36. a. Colores gley en marisma baja. B. Moteados pardo-rojizos en marisma alta (señalados con flechas).

4.3.3. Análisis texturales

Para este tipo de análisis se trabajó con el Subgrupo 1 de muestras (total 81 muestras, ver Anexo I) que se seleccionó en base a los cambios texturales en profundidad, con el objetivo de que las muestras sean representativas de las variaciones texturales en cada perfil. Así, cada vez que se identificó al tacto una clase textural diferente en un mismo perfil, se separó una submuestra para efectuar un análisis cuantitativo con difractómetro láser. De las comparaciones texturales, surgieron diferencias que permitieron caracterizar tanto las subunidades reconocidas en la marisma como los sectores de marisma alta y baja (Tabla 4.3). En primer lugar, el tipo de distribución demuestra que la Planicie fangosa es la más heterogénea granulométricamente, seguida por las Barras arenosas y la Planicie arenosa, mientras que los Cordones gravosos son los más homogéneos con una sola moda.

Según la clasificación de Folk (1974), la Planicie fangosa y las Barras arenosas nuevamente exhiben similitudes al ser predominantemente arenas fangosas en la marisma alta y baja, aunque las Barras arenosas se encuentran levemente mejor seleccionadas. La textura más común en los Cordones gravosos resultó ser grava areno-

fangosa, pero en la marisma baja también sobresale la textura netamente de grava. Por su parte, la Planicie arenosa en su marisma alta pertenece al grupo textural de arena, volviéndose arena fangosa en la marisma baja.

Se aprecia en todas las unidades la concentración de materiales de mayor granulometría en la marisma alta, lo cual se refleja en los valores promedio de ϕ . En aquellos perfiles en que el material parental es grava, dicha tendencia se refleja en los sedimentos que componen la matriz.

En lo referente a los demás parámetros, las unidades demostraron una mala selección, siendo la Planicie fangosa y los Cordones gravosos los de menor grado de selección. La asimetría de todas las subunidades es mayormente muy positiva, lo que indica que la cola de la curva granulométrica se ubica del lado de los finos. El parámetro de agudeza, definido como una comparación entre las dispersiones de la parte central y de los extremos de la curva de frecuencia, arrojó valores altos en general, hallándose los más elevados en los Cordones gravosos y las Barras arenosas.

Tabla 4.3. Parámetros estadísticos por cada unidad geomorfológica con marisma. MA: marisma alta. MB: marisma baja. MPS: muy pobremente seleccionado. PS: pobremente seleccionado. ML: muy leptocúrtico. EL: extremadamente leptocúrtico.

Unidad	Sector	Distribución	Grupo textural	Media (ϕ)	Selección	Asimetría	Agudeza
Planicie fangosa	MA	Trimodal	Arena fangosa	2,98	MPS	Muy positiva	ML
	MB		Arena fangosa	3,04			
Cordón gravoso	MA	Unimodal	Grava areno-fangosa	0,26	MPS	Muy positiva	EL
	MB		Grava y Grava areno-fangosa	0,70			
Barra arenosa	MA	Bimodal	Arena fangosa	2,74	PS	Muy positiva	EL
	MB		Arena fangosa	3,34			
Planicie arenosa	MA	Bimodal	Arena	2,72	PS	Muy positiva	ML
	MB		Arena fangosa	2,83			

Si bien en la tabla 4.3 se indican las características más notorias, una vista detallada de la distribución de las muestras en los diagramas ternarios da cuentas de la variabilidad interna de cada subunidad. Así, la Planicie fangosa se concentra en el grupo textural de arena fangosa, pero abarca otros grupos con mayor participación de la fracción gruesa, especialmente en la marisma alta (Figura 4.37). La tendencia opuesta se reconoce en los Cordones gravosos con más muestras en las texturas más gruesas y algunas de la marisma baja desviándose hacia las más finas (Figura 4.38). Las Barras arenosas se ubican entre arenas fangosas y arenas con ausencia de materiales gruesos (Figura 4.39). Con respecto a la Planicie arenosa, muestra algunos desvíos hacia grupos gravosos (Figura 4.40).

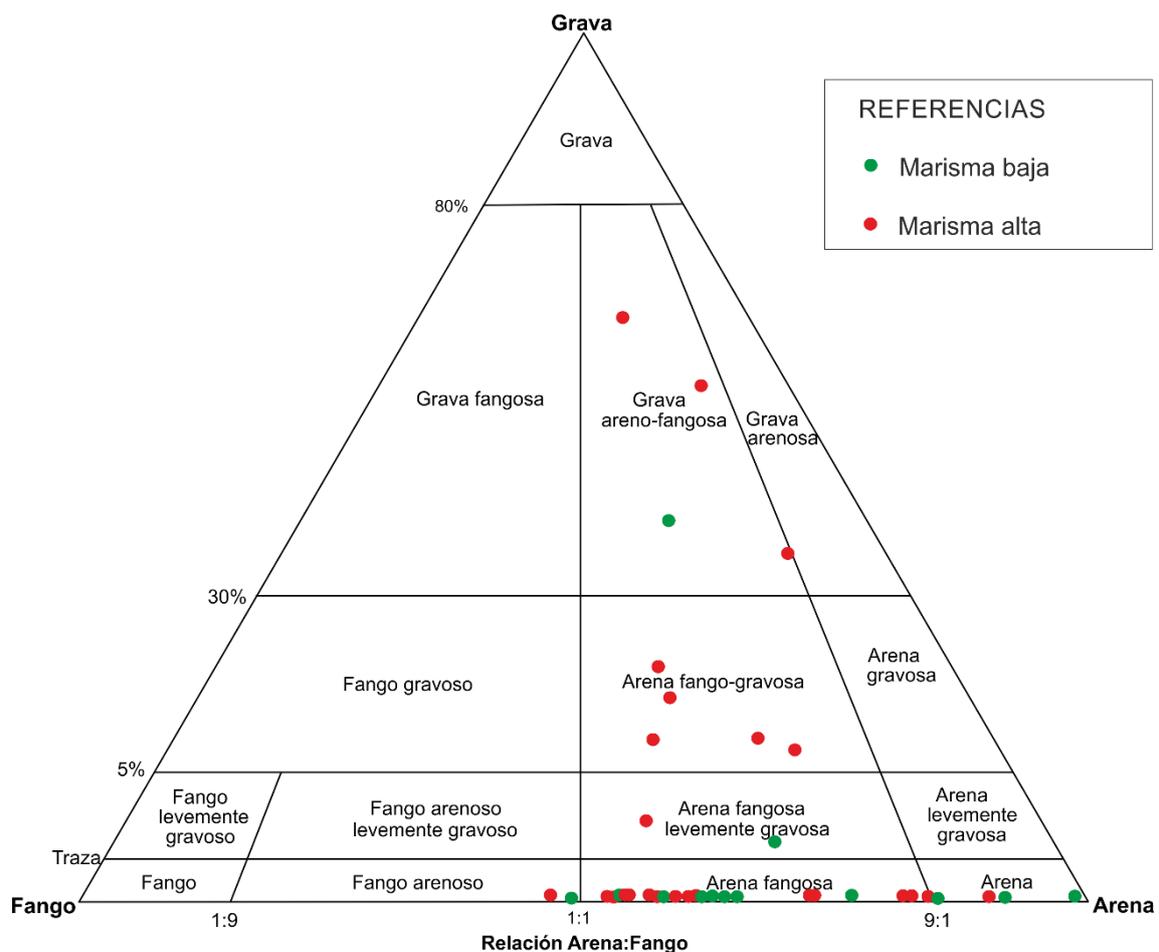


Figura 4.37. Diagrama ternario de Folk (1974) para clasificación textural de la marisma en la Planicie fangosa.

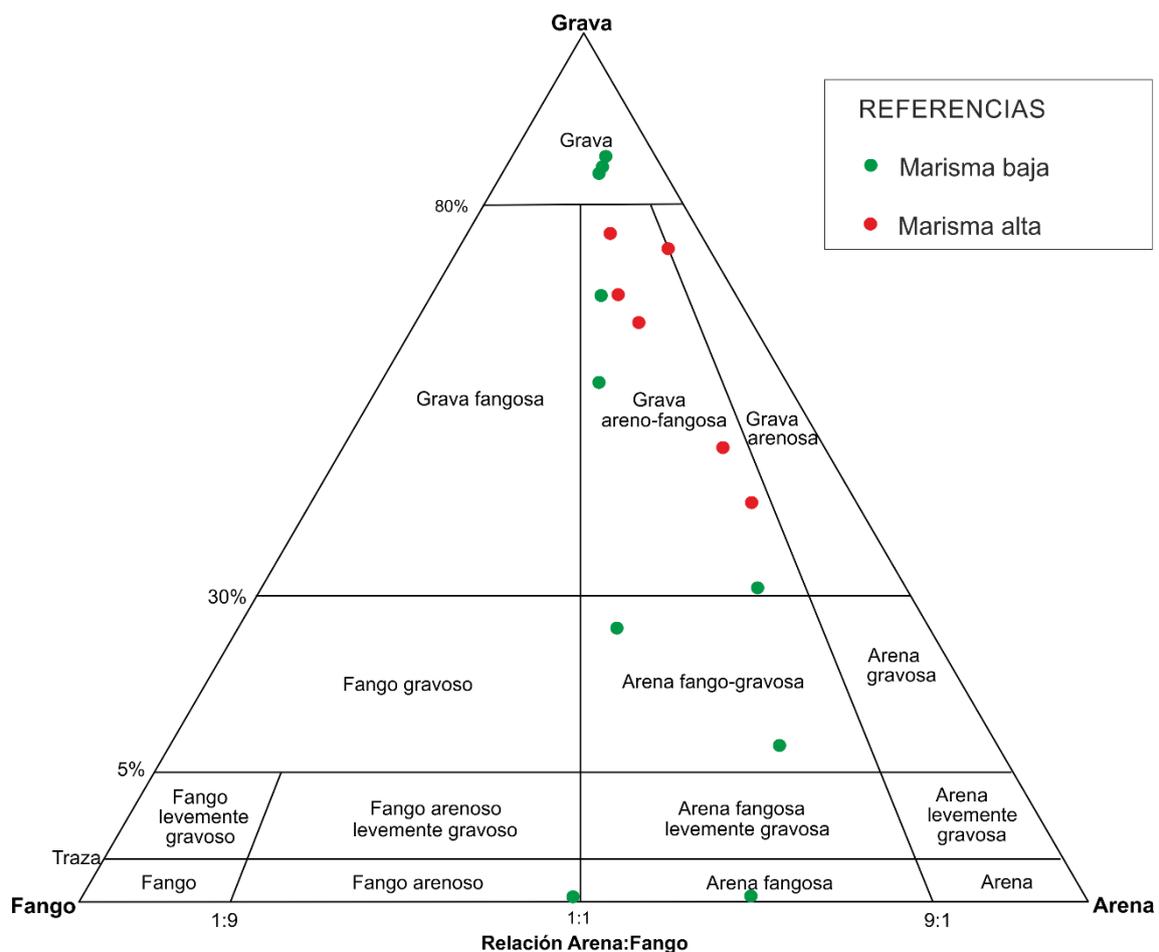


Figura 4.38. Diagrama ternario de Folk (1974) para clasificación textural de la marisma en los Cordones gravosos.



Figura 4.39. Diagrama ternario de Folk (1974) para clasificación textural de la marisma en las Barras arenosas.

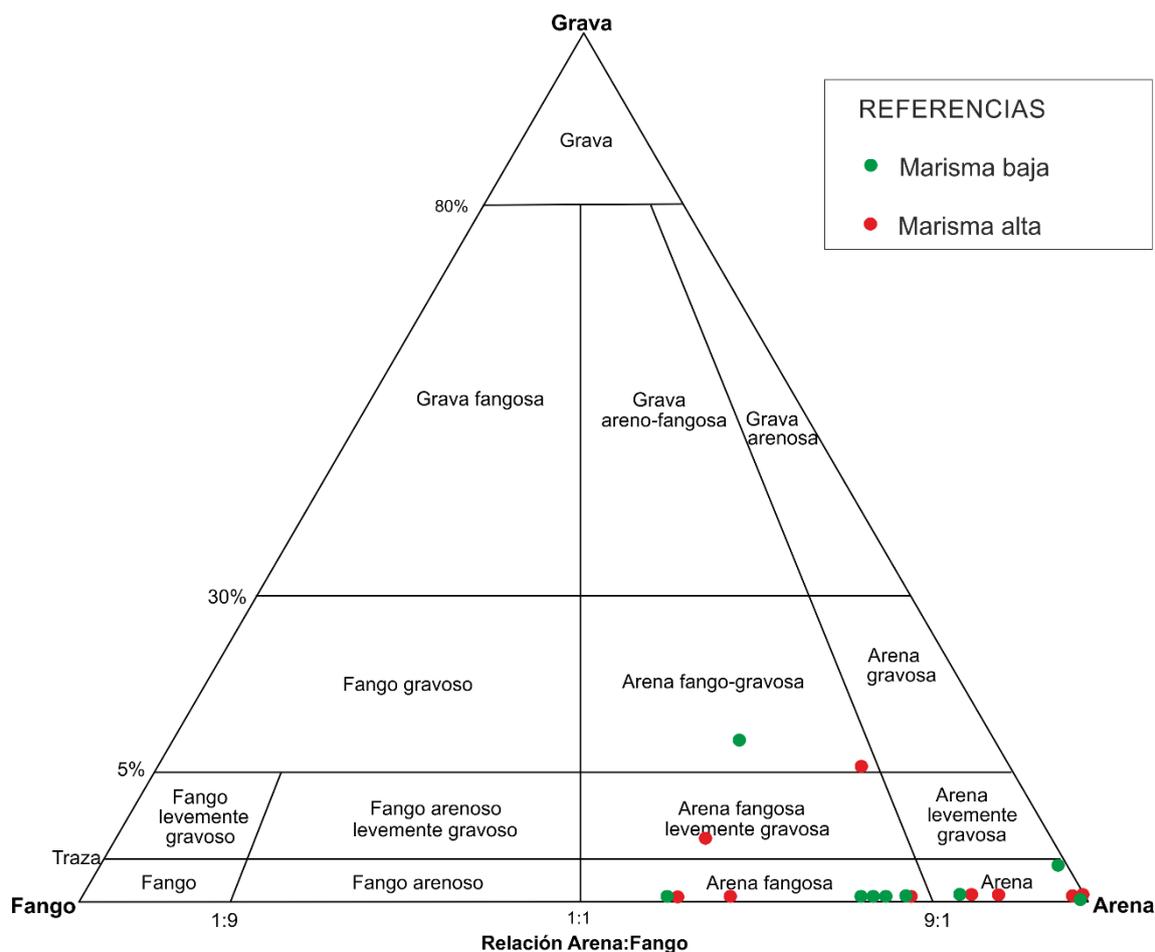


Figura 4.40. Diagrama ternario de Folk (1974) para clasificación textural de la marisma en la Planicie arenosa.

4.3.4 Mineralogía

Además de representar la variación interna de cada perfil desde un punto de vista textural, se buscó en el Subgrupo 1 de muestras conocer su composición mineralógica con difracción de Rayos X en polvo al azar (Tabla 4.4). Se aprecia que las especies de minerales livianos más comunes son cuarzo, plagioclasa y arcillas (Figura 4.41), estando los dos primeros en la totalidad de las muestras como revela el gráfico de minerales presentes (Figura 4.42). En menor medida, aparecen carbonatos (calcita y aragonita) y feldespatos. Llama la atención la detección de minerales de azufre, principalmente pirita, los cuales se acotan a los suelos marcados como potencialmente ácidos que serán tratados más adelante.

Tabla 4.4. Minerales identificados mediante DRX en perforaciones de la campaña de diciembre 2018.

Perfil	Prof. (cm)	Cuarzo	Plagioclasa	Arcillas	Feldesp. K	Pirita	Carbonatos
MSB-4	10-20	X	X	X		X	
	60-105	X	X	X		X	
	110-120	X	X	X			
MSB-5	15-35	X	X	X			
	80-110	X	X				
	139-160	X	X	X			
MSB-10	10-19	X	X	X		X	
	105-130	X	X	X			X
	160-165	X	X	X	X	X	X
MSB-11	30-40	X	X		X	X	X
	145-155	X	X	X			
MSB-12	26-37	X	X	X			X
	37-53	X	X	X			X
	108-113	X	X		X	X	X
MSB-13	0-15	X	X	X	X		
	40-60	X	X	X			X
	115-135	X	X		X	X	X
MSB-14	20-40	X	X	X			
	65-85	X	X	X	X	X	
	125-170	X	X			X	
MSB-19	30-38	X	X	X	X	X	
	82-95	X	X	X		X	X
	120-130	X	X	X		X	
MSB-21	15-30	X	X		X		X
	90-100	X	X				X
MSB-22	25-35	X	X		X		
MSB-24	20-35	X	X	X	X		
	107-121	X	X	X	X	X	
	150-170	X	X	X		X	X
MSB-25	66-86	X	X	X	X		
	129-140	X	X	X	X	X	X
MSB-29	0-16	X	X	X			X
	29-42	X	X	X		X	X
	84-93	X	X	X		X	X
MSB-30	0-15	X	X	X			X
	86-100	X	X				X
	125-135	X	X				

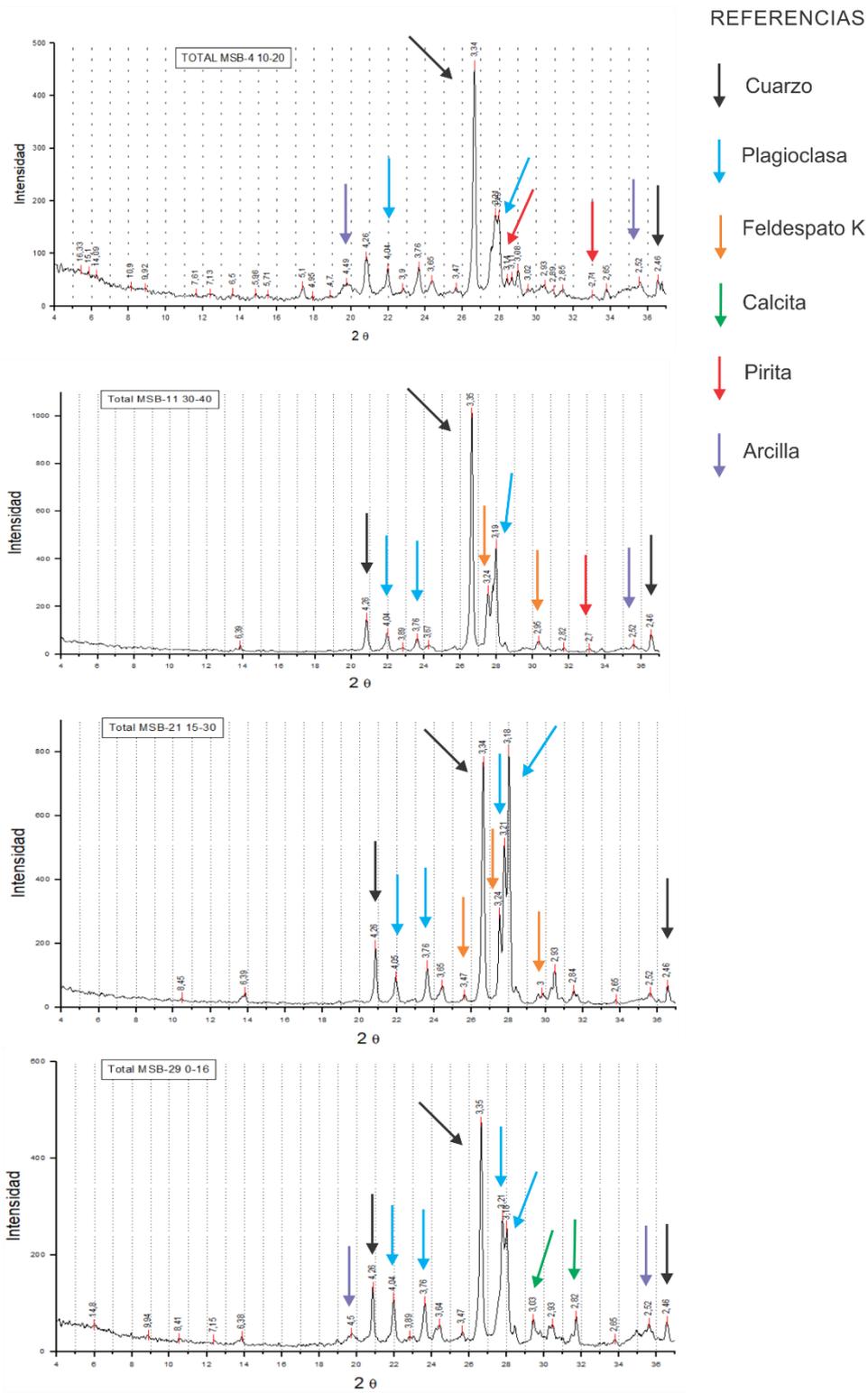


Figura 4.41. Difractogramas de muestras de sedimento extraídas de los márgenes del canal Jabalí (Subgrupo 1).

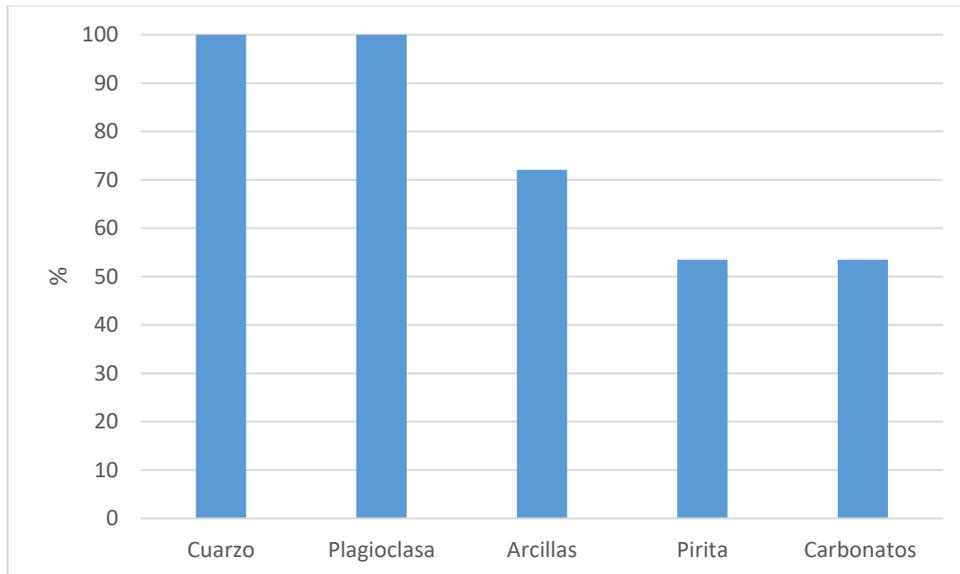


Figura 4.42. Presencia de minerales expresada en porcentaje de muestras en que fueron reconocidos mediante DRX.

Las muestras correspondientes exclusivamente a la campaña de 2021 (transectas 2, 4, 6, 7 y 8) fueron observadas bajo microscopio petrográfico. Esta herramienta permitió discriminar mayor variedad de especies minerales como se observa en la Figura 4.43, aunque las especies observadas más frecuentemente fueron coherentes con lo detectado a través de DRX. De la mineralogía de este conjunto de muestras, se desprende la presencia en todas las muestras de cuarzo y minerales opacos, presentándose también comúnmente piroxenos, plagioclasas y olivinos (Figura 4.44). De los mencionados anteriormente, siempre el cuarzo y las plagioclasas fueron más abundantes que aquellos clasificados como máficos, los cuales generalmente se distribuían en escasas cantidades.

Cabe aclarar que en la categoría “vidrio volcánico” se agruparon tanto individuos de vidrio propiamente dicho como restos pumíceos y de trizas. Asimismo, dentro de “carbonatos” se incluyeron cristales carbonáticos y fragmentos de conchillas. En cuanto a la composición de los minerales opacos, Angelelli y Chaar (1967) destacan titanomagnetita, ilmenita y hematita para la playa y los médanos al Este de la Isla Jabalí.

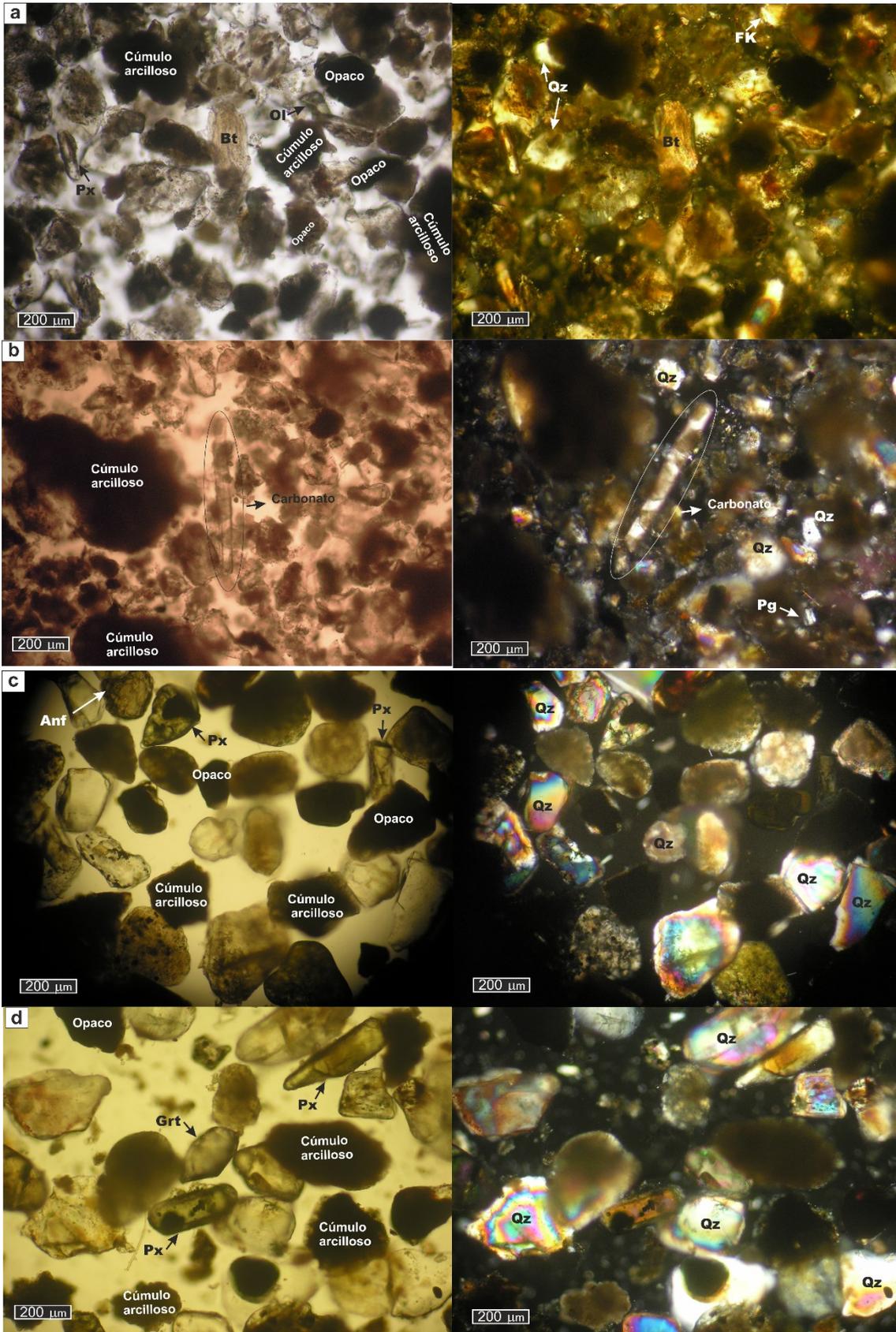


Figura 4.43. Muestras a grano suelto observadas en microscopio petrográfico (ver Anexo I) con polarizador (izquierda) y analizador (derecha). a. MSB-37 >96. b. MSB-39 61-87. c. MSB-51 21-47. d. MSB-52 0-25.

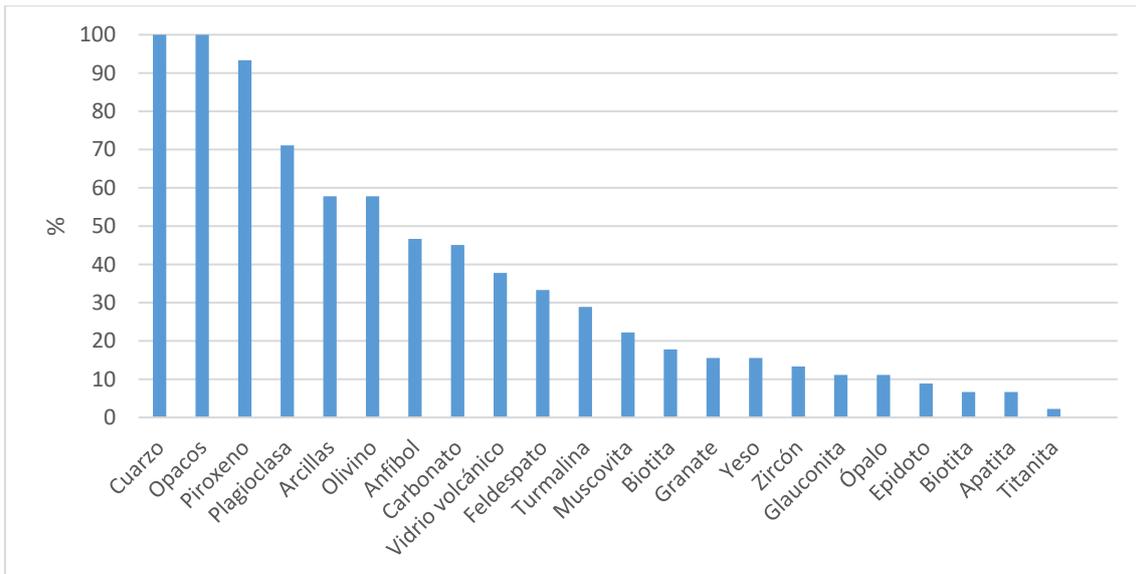


Figura 4.44. Presencia de minerales expresada en porcentaje de muestras en que fueron reconocidos. En total 42 muestras analizadas con microscopio petrográfico (ver Anexo I) considerando únicamente presencia/ausencia.

Al unificar los resultados de las determinaciones (36 con DRX y 42 con microscopio petrográfico, ver Anexo I), si bien se identificaron más especies minerales en el microscopio, se mantiene la proporción en que se encuentran las especies comunes. De esto se desprende que el cuarzo, las plagioclasas y las arcillas fueron halladas en mayor concentración, seguidas por los carbonatos y los feldespatos (Figura 4.45).

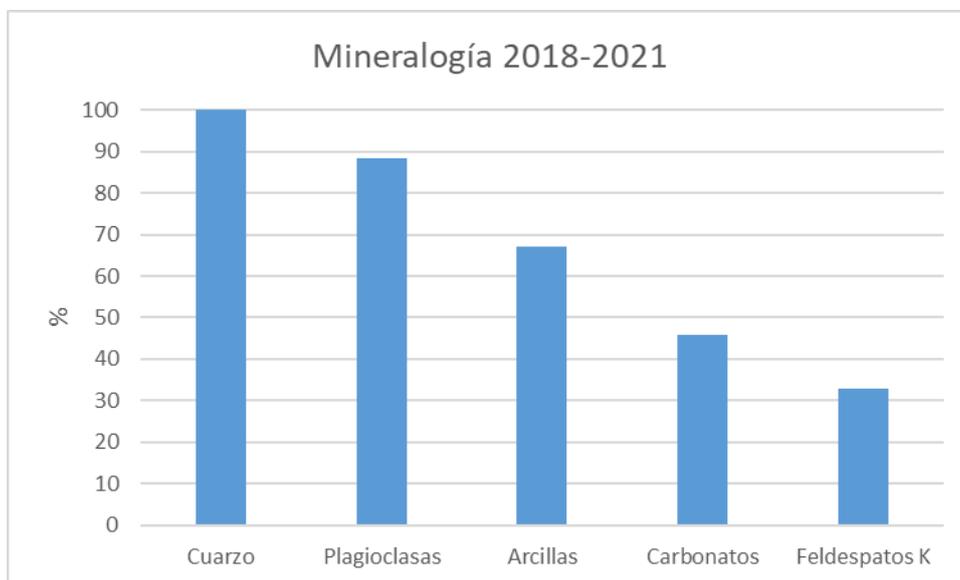


Figura 4.45. Presencia de minerales comunes a los métodos de identificación, según porcentaje de muestras en que fueron registrados.

Producto de la diferenciación entre la mineralogía de la marisma alta y la marisma baja, se halló que dentro de los minerales livianos existe una mayor presencia de plagioclasas, arcillas y feldespatos en la marisma baja (Figura 4.46). En tanto, el cuarzo

y los carbonatos se reparten por igual entre los dos sectores. Con respecto a los minerales pesados, su diferenciación fue más detallada en el microscopio petrográfico (con excepción de los opacos), lo que permitió la apreciación de su distribución. De esta manera, se distinguió más frecuentemente a esta fracción en la marisma alta, con excepción del olivino y el zircón que estuvieron más presentes en la parte baja de la marisma (Figura 4.47).



Figura 4.46. Distribución de minerales livianos en porcentaje de muestras al combinar registros de DRX y microscopio petrográfico.

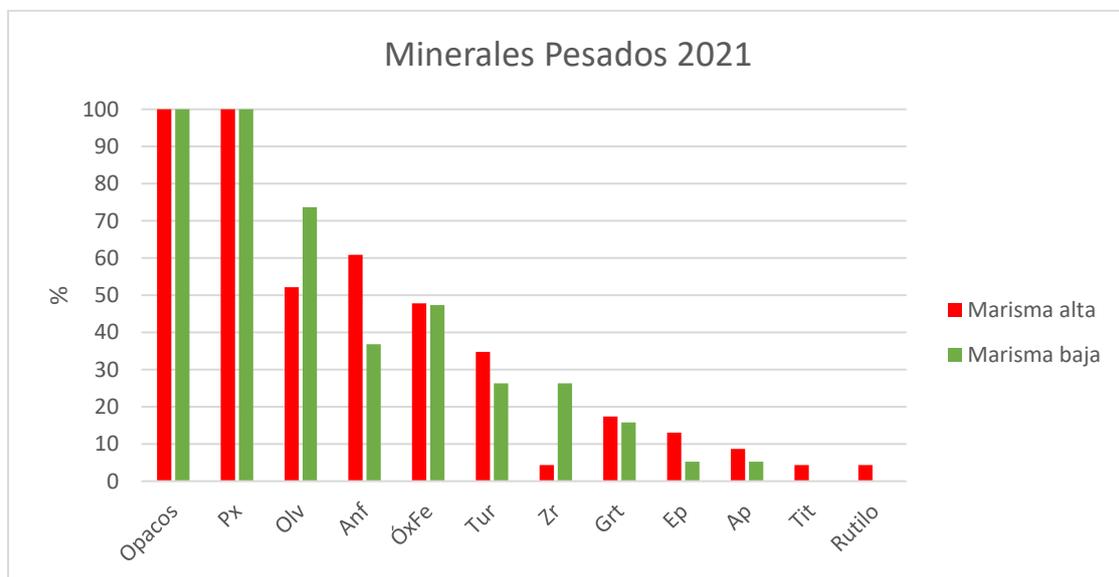


Figura 4.47. Distribución de minerales pesados en porcentaje muestras observadas con microscopio petrográfico.

Costras salinas

Se eligieron aquellas muestras de suelo superficiales con alta salinidad para someter sus extractos de saturación a evaporación. En el campo se hallaron costras salinas en la superficie de varios perfiles a los que se le adjudicó el sufijo “z” por la presencia de sales más solubles que el yeso. En cuanto a las evaporitas identificadas, las más abundantes fueron cloruros y sulfatos como halita y yeso, encontrándose en menor proporción otras como silvita y posiblemente polihalita, algunos carbonatos, y mezclas de variada composición. La formación de silvita puede haber sido potenciada por las condiciones de evaporación del extracto en laboratorio. De todas maneras, tanto este mineral como la halita aparecen con hábito cúbico, pero la segunda también forma superficies cristalinas que engloban cristales de yeso. Es común encontrar mezclas de sulfatos cálcicos y cloruros sódicos formando acículas y otras veces lamelas, existiendo además ocasiones en que se combinan ambos hábitos generando agregados en que las acículas se disponen agrupadas irradiando a los lados de los cristales lamelares (Figura 48). Cabe aclarar que, además de analizar las evaporitas asociadas a muestras de sedimentos, se observaron eflorescencias salinas sobre matas microbianas, donde la halita fue el mineral más abundante conformando verdaderas masas de cristales cúbicos euhedrales (Figura 4.49).

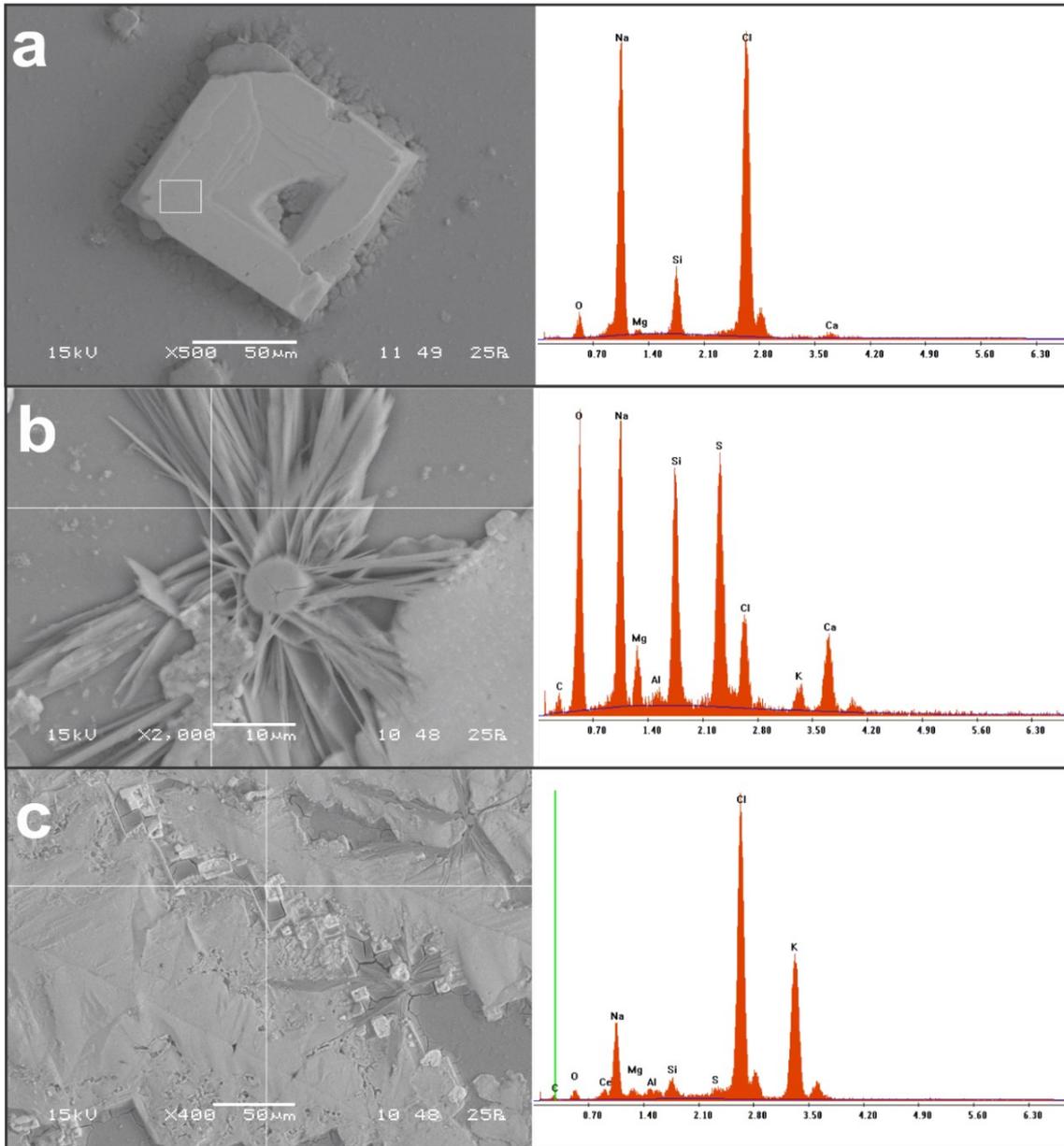


Figura 4.48. a. Cristales euhedrales de halita. b. Mezclas aciculares de sulfatos y cloruros cálcico-sódicos. c. Cristales cúbicos de silvita.

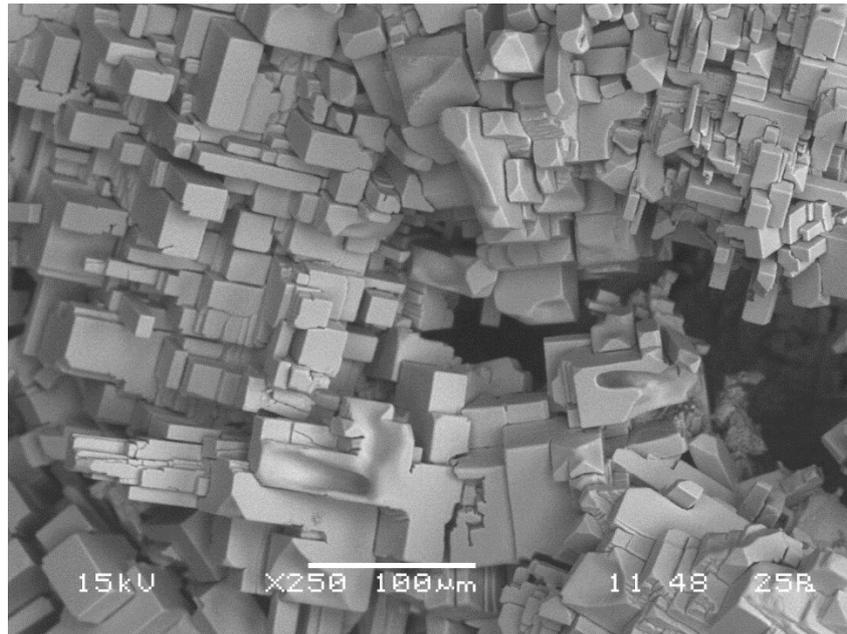


Figura 4.49. Masa de cristales euhedrales de halita con hábito cúbico, observada en las matas microbianas sobre el perfil MSB-12.

Por otra parte, se trazaron dos transectas para estudiar la CE de la solución del suelo de los horizontes superficiales que comúnmente presentaron costras salinas. La transecta CS se trazó paralela al puente de acceso a Bahía San Blas y fue separada en 3 tramos: CSA, CSB y CSC de Este a Oeste (Figura 4.50). En cambio, la transecta TCS se compone de un único trazado en el sector distal del canal Jabalí (Figura 4.51).

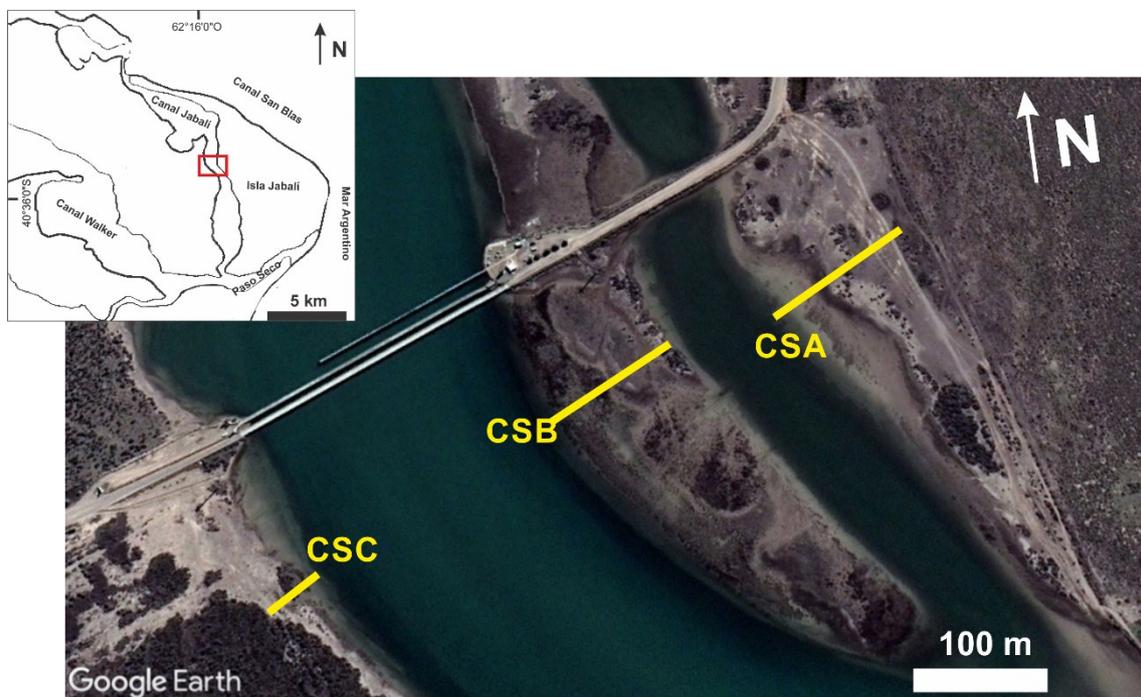


Figura 4.50. Distribución de transecta CS y sus respectivos tramos.

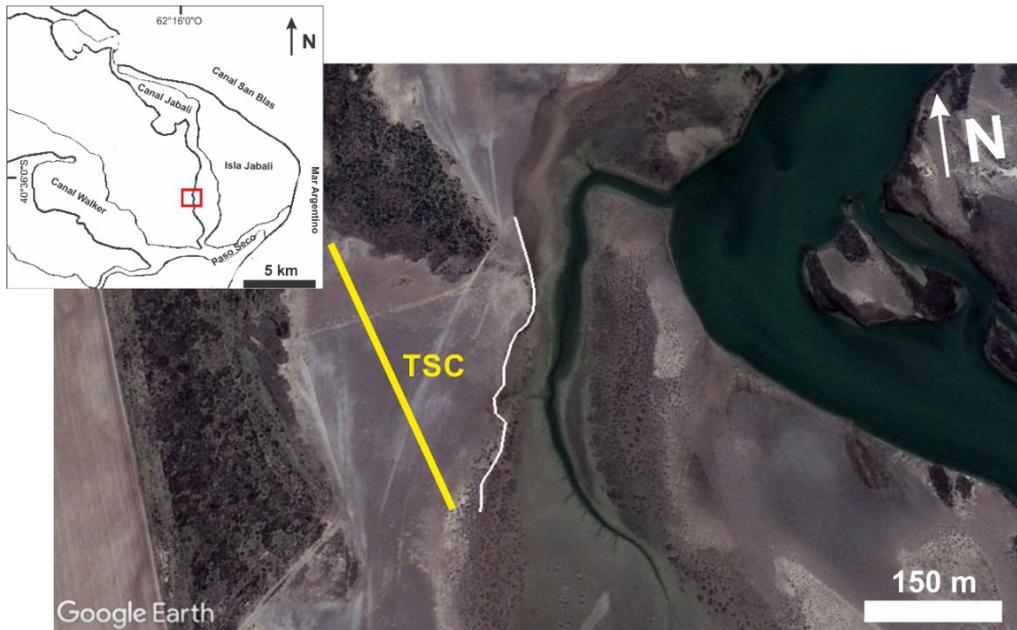


Figura 4.51. Ubicación de la transecta TCS y en blanco el límite entre marisma alta y marisma baja.

- Transectas CS

En la margen Oeste del canal Jabalí se relevó el tramo CSC alineado con los pozos MSB-10 y MSB-11. Este tramo registra una clara tendencia ascendente de la salinidad a medida que los puntos se alejan del brazo del canal (Figura 4.52). El máximo de CE coincide con el suelo desarrollado en la marisma alta, siendo el más cercano al canal el que muestra la menor CE, aunque en general la marisma baja posee valores de CE que rondan los 5 mS/cm. A su vez, se da una variación composicional, puesto que en cercanía al canal se observó principalmente una composición clorurada sódica en los extractos y en la muestra más alejada se reconocieron cristales de yeso y especies como la bischofita que se presenta con hábito masivo acompañando sales de halita (Figura 4.53).

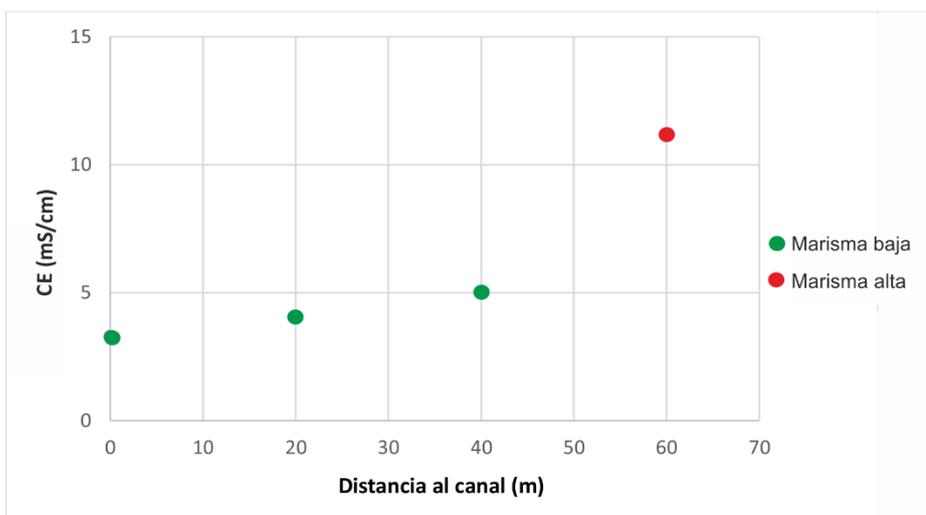


Figura 4.52. Variación horizontal de CE en la transecta CSC, mostrando la variación de CE con la distancia desde el canal Jabalí.

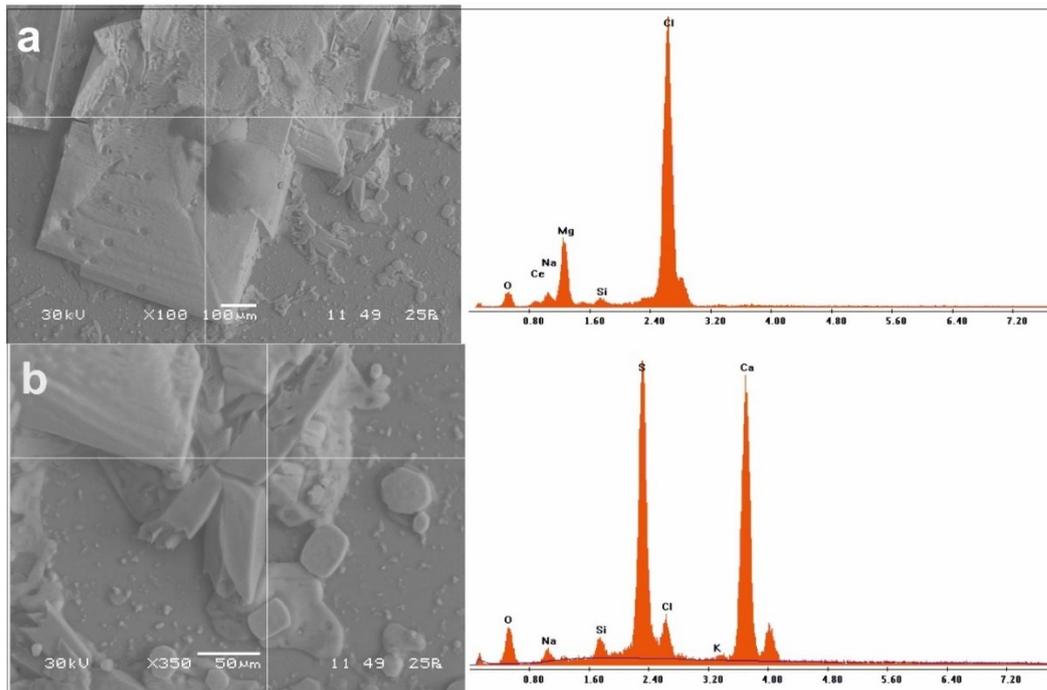


Figura 4.53. Cristalizaciones observadas en transecta CSC. a. Formas dómicas ricas en Magnesio. b. Cristales subhedrales de yeso.

El tramo CSB abarca los pozos MSB-12, MSB-13 y MSB-14, ubicándose en la parte central. El comportamiento de este tramo describe valores de CE en la marisma baja que coinciden con lo observado en el tramo anterior, perteneciendo también los valores más altos a la marisma alta (Figura 4.54). La existencia de dos sectores de marisma baja se explica porque este tramo pertenece a una barra arenosa que se encuentra bordeada por dos brazos del canal Jabalí: uno occidental y otro oriental. En cuanto a la mineralogía, próximo al brazo occidental se halló tanto halita como yeso asociados a matas microbianas, a la vez que en la marisma baja oriental prevalece la composición halítica (Figura 4.55).

En el tramo de la margen Este, la transecta CSA está conformada por 8 puntos, entre los que se encuentran los pozos MSB-24 y MSB-25. Se reconocen registros de CE para la marisma baja similares a los otros tramos, siendo superados por la marisma alta que exhibe los mayores valores de la transecta CS con 13,7 mS/cm. Llama la atención tanto en este tramo como en CSB valores muy bajos de CE superficial en la marisma alta, lo que puede deberse a que tales puntos se hallaban al reparo de vegetación, lo cual disminuye la evaporación. Mineralógicamente, en la marisma baja predomina la halita y en la muestra más lejana al canal aparecen mezclas de otras sales ricas en sulfatos (Figura 4.56).

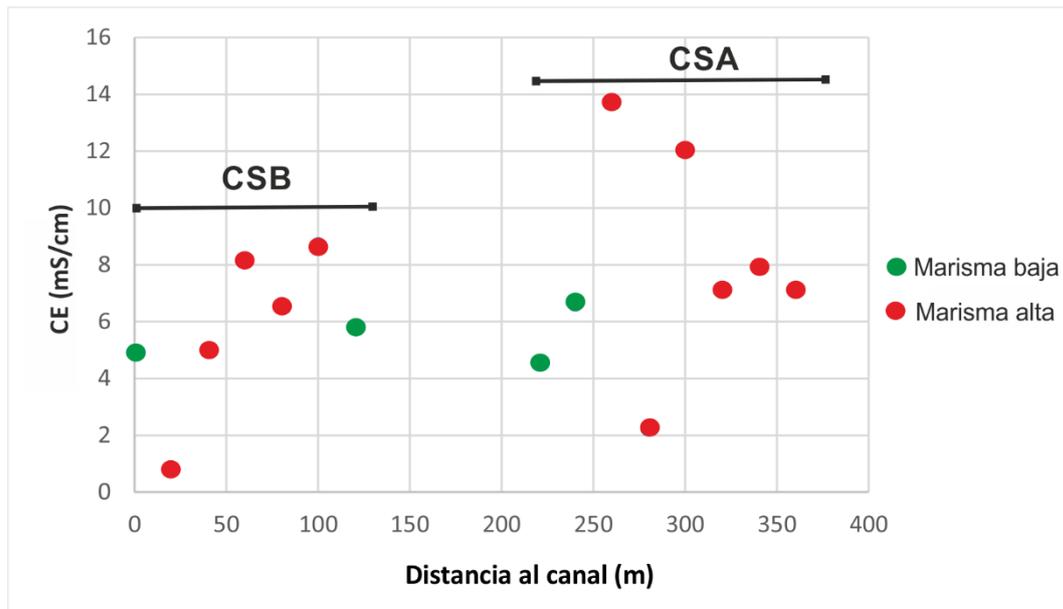


Figura 4.54. Variación horizontal de CE en las transectas CSA y CSB, mostrando la variación de CE con la distancia desde el brazo occidental del canal Jabalí.

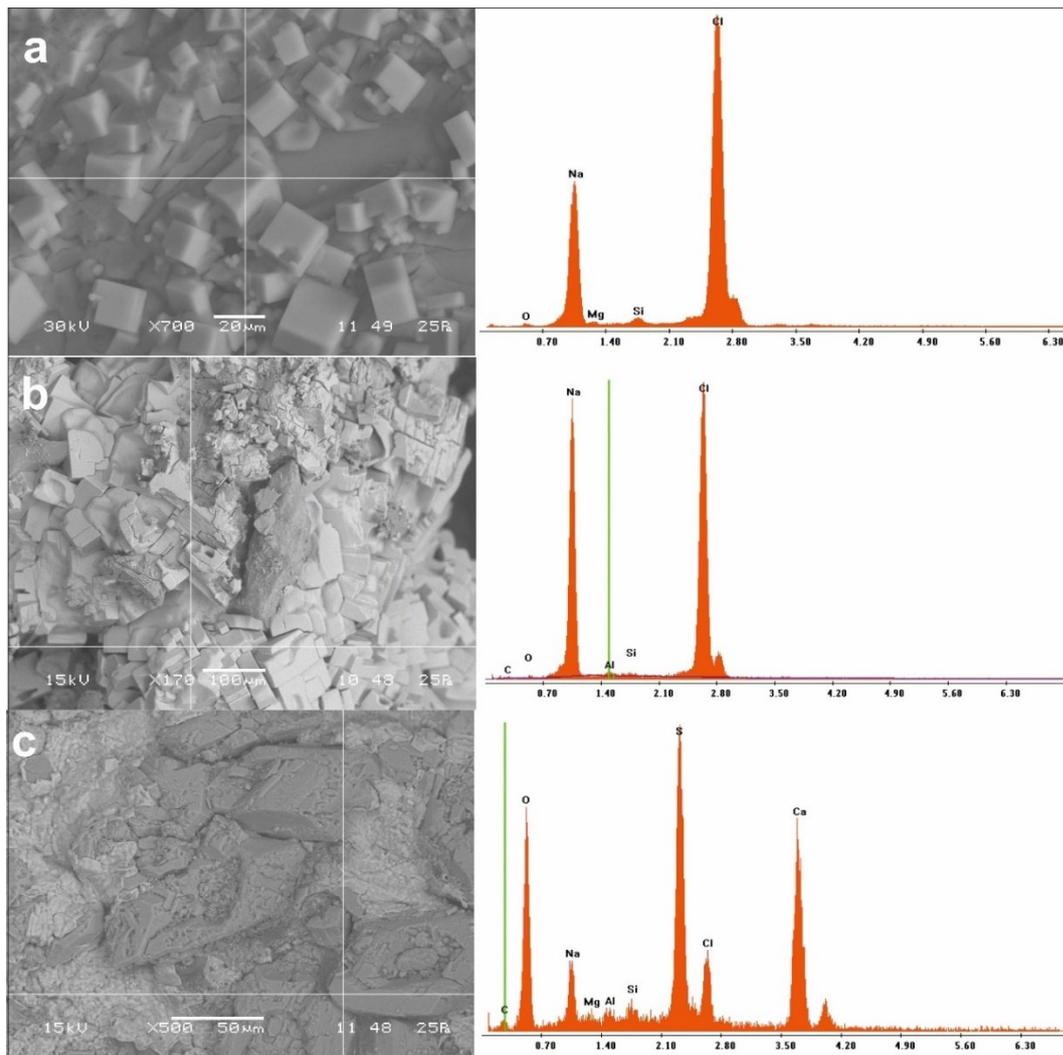


Figura 4.55. Minerales evaporíticos en la transecta CSB. a. Cristales cúbicos de halita. b. Agregados de halita sobre matas microbianas. c. Cristales subhedrales de yeso también sobre matas microbianas.

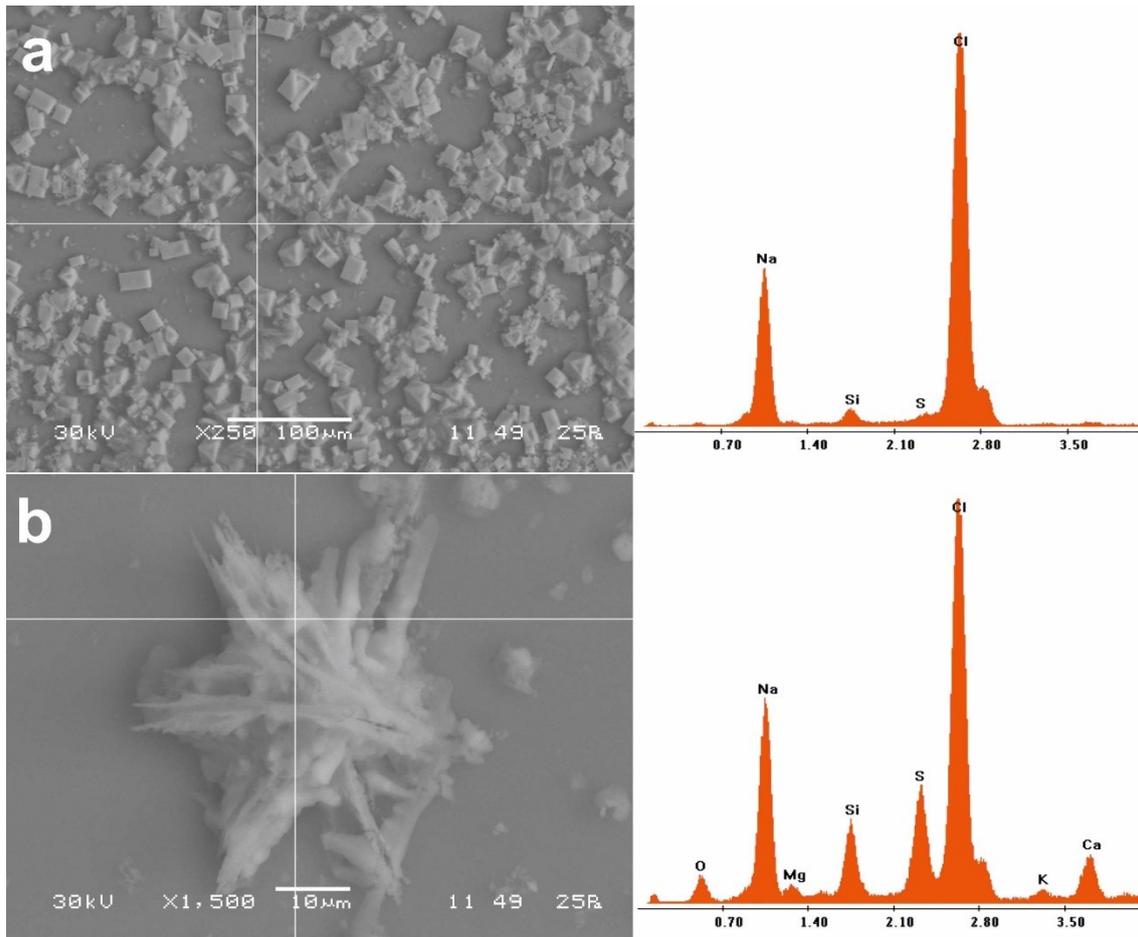


Figura 4.56. Muestras de la transecta CSA. a. Cristales de halita. b. Mezclas de halita y sulfatos cálcicos.

- Transecta TCS

El muestreo fue realizado en el tramo distal del canal Jabalí, incluyendo los puntos MSB-29 y MBS-30 y estando íntegramente emplazada en la marisma alta. Debe aclararse que en esta transecta la distancia al canal fue medida usando como referencia el escalón que delimita la planicie mareal baja de la alta. Desde el mismo, se tuvo en cuenta la distancia en forma perpendicular a cada punto. No se observa una relación entre la CE y la distancia al escalón limitante de la marisma alta, sino más bien una alineación de los registros en torno a los 15 mS/cm (Figura 4.57). De este modo, los horizontes de esta transecta resultan más salinos que los de la transecta CS, presentando incluso el mayor valor con casi 20 mS/cm. Por último, en toda la transecta se advierte la cristalización de halita que se encuentra acompañada por silvita y yeso en la muestra más distante del curso mareal, observándose sólo yeso y halita en la más próxima al mismo (Figura 4.58).

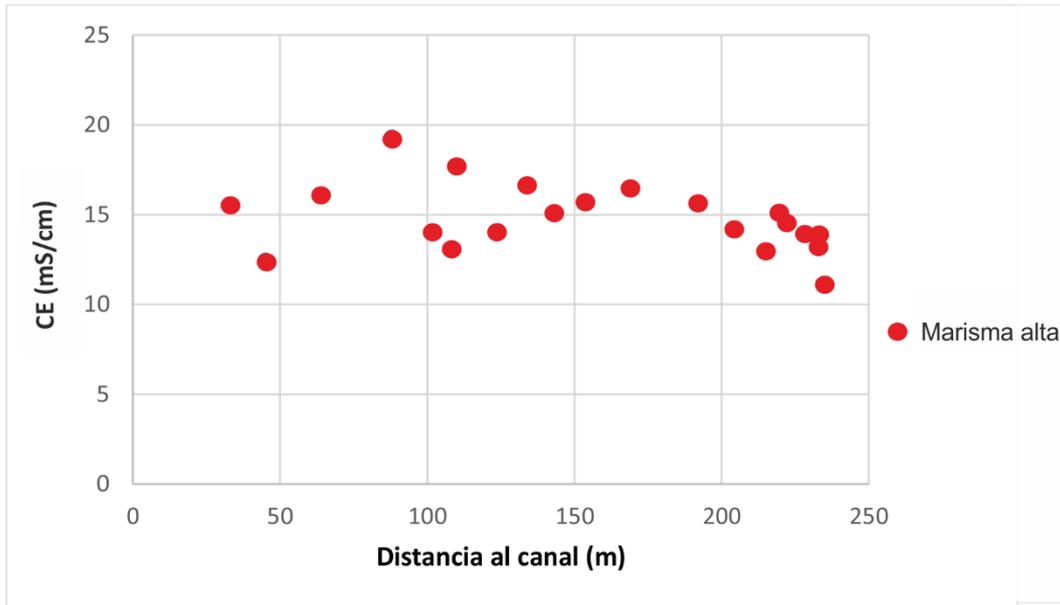


Figura 4.57. Variación horizontal de CE en la transecta TCS, mostrando la variación de CE con la distancia desde el canal Jabalí.

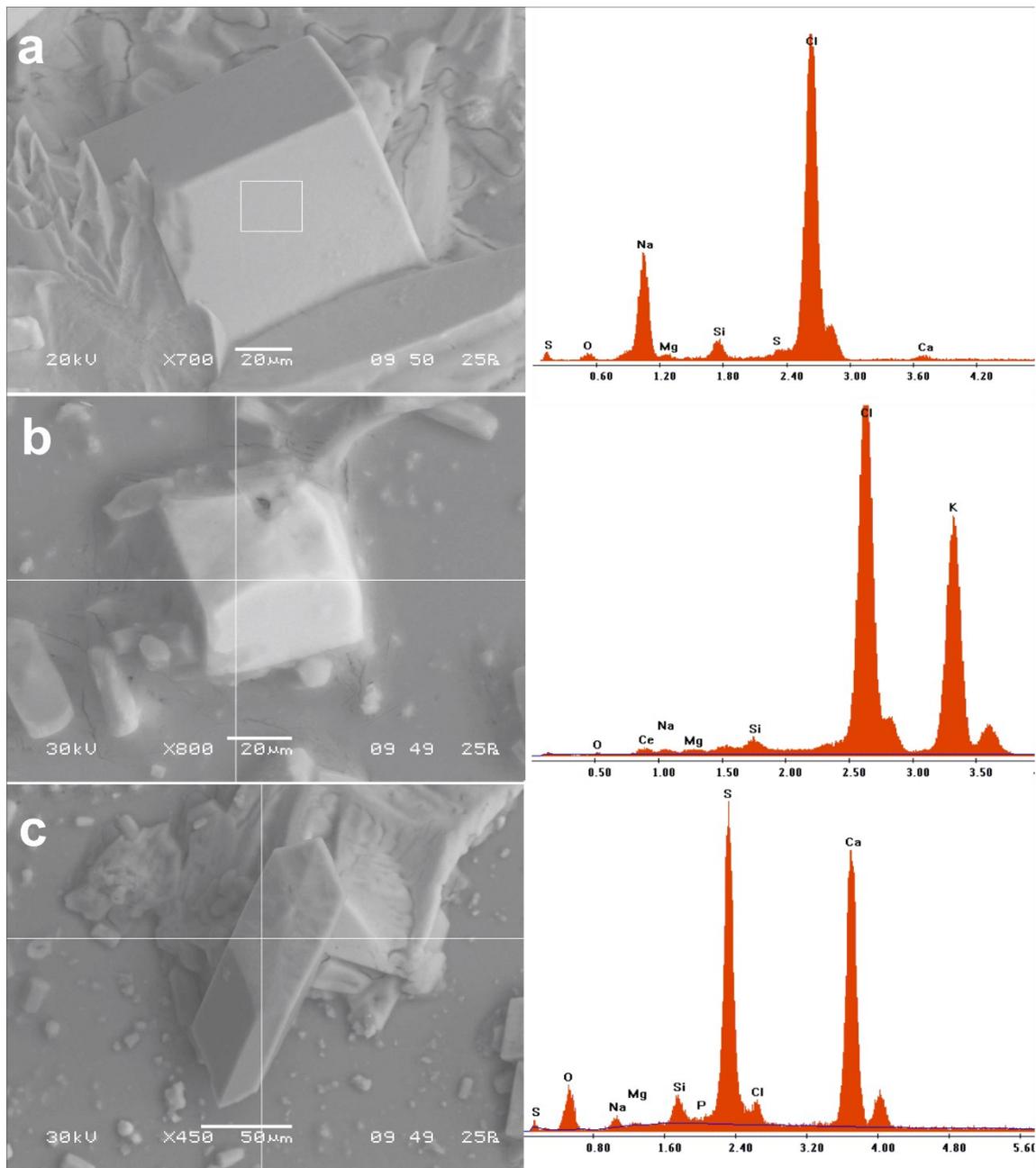


Figura 4.58. Formas cristalinas en transecta TCS. a. Cristal cúbico de halita. b. Cristal cúbico de silvita. c. Cristales euhedrales de yeso.

4.3.5 Evaluación de materiales sulfídicos

Como primer paso se efectuaron mediciones en el campo de pH y Eh conforme se encontraron horizontes con características tales como colores gley, sedimentos saturados, cercanía del nivel freático y típico olor a sulfuro de hidrógeno que podrían ser adjudicadas a existencia de materiales sulfídicos. De esta manera, aquellos horizontes que cumplieron con las características anteriores, pasaron a formar parte del Subgrupo 2 de muestras (total 17 muestras) en el que se avanzó con la evaluación

materiales sulfídicos. En la tabla 4.5 se resumen los valores medidos *in situ* y los de pH de oxidación medidos en laboratorio como referencia antes de comenzar el ensayo de evaluación de materiales sulfídicos. Se observa que los horizontes donde se midió el Eh mostraron todos valores negativos y colores gley, evidenciando un ambiente reductor. En cuanto al pH, existe una tendencia general a la neutralidad, habiendo algunos horizontes con leve alcalinidad concentrados en el perfil MSB-21. En cambio, el pH de oxidación en todas las muestras dio valores ácidos, llegando a extremos de alta acidez en los horizontes subsuperficiales del perfil MSB-4, en el horizonte 2Cg2 del perfil MSB-13 y el horizonte 2Cg3 del perfil MSB-14.

Tabla 4.5. Valores de Eh y pH medidos tanto en campo (*) como en laboratorio (**) y porcentajes de materia orgánica (MO).

Marisma	Muestra	HZ/Tramo	Eh*	pH*	pH ox**	MO (%)
Baja	MSB-4	Ag	-101	7,36	5,44	0,51
	MSB-4	Bg	-147	7,13	2,48	0,44
	MSB-4	Cg	-96	6,85	2,66	0,45
Alta	MSB-12	2Cg2	-53	7,33	5,42	0,46
Baja	MSB-13	Ag	-	7,95	6,59	0,39
	MSB-13	2Cg1	-	7,33	6,22	0,49
	MSB-13	2Cg2	-62	6,93	3,43	0,52
Alta	MSB-14	2Cg3	-14,5	7,33	3,12	0,47
Baja	MSB-19	Cg	-81	7,26	5,53	1,36
Baja	MSB-21	0-15	-	7,62	5,86	0,29
	MSB-21	15-30	-	7,60	5,7	0,27
	MSB-21	30-45	-	7,74	5,92	0,15
	MSB-21	40-60	-	7,90	5,92	0,17
	MSB-21	60-75	-	8,09	6,12	0,1
	MSB-21	75-90	-	8,00	6,00	0,18
	MSB-21	90-100	-	8,05	6,03	0,11
MSB-21	100-110	-	7,91	5,91	0,16	

Si bien en algunos sectores se muestrearon horizontes aislados, en otros se pudo muestrear el perfil completo y consecuentemente graficar la evolución del pH y el pH de oxidación en profundidad, mostrándose en la figura 4.59. Los tres perfiles representados pertenecen al sector de marisma baja y se observa en los gráficos el comportamiento similar entre el pH y el pH de oxidación con una tendencia a aumentar la acidez en conformidad con la profundidad.

El primer gráfico corresponde al perfil MSB-4, posicionado próximo a la boca del canal Jabalí (transecta 1), donde se presenta la mayor diferencia entre el pH y el pH de oxidación. El primero disminuye levemente a medida que se profundiza, a la vez que el segundo lo hace abruptamente en el mismo sentido hasta llegar a los valores más bajos del área de estudio (Figura 4.59a). El perfil MSB-13, en la transecta vecina al puente de acceso (transecta 3), los dos parámetros muestran una variación similar, aunque en el horizonte más profundo el pH de oxidación desciende más unidades (Figura 4.59b). Por

su parte, el perfil MSB-21 al Sur del anterior en la transecta 5, arrojó una variación similar entre el pH y el pH de oxidación, manteniéndose prácticamente constantes en profundidad (Figura 4.59c). En última instancia, los cambios en el porcentaje de la fracción fina en los tres perfiles, demuestran un comportamiento inverso entre esta variable y los dos tipos de pH, de forma que a mayor porcentaje de fracción fina le corresponde menor pH y pH de oxidación.

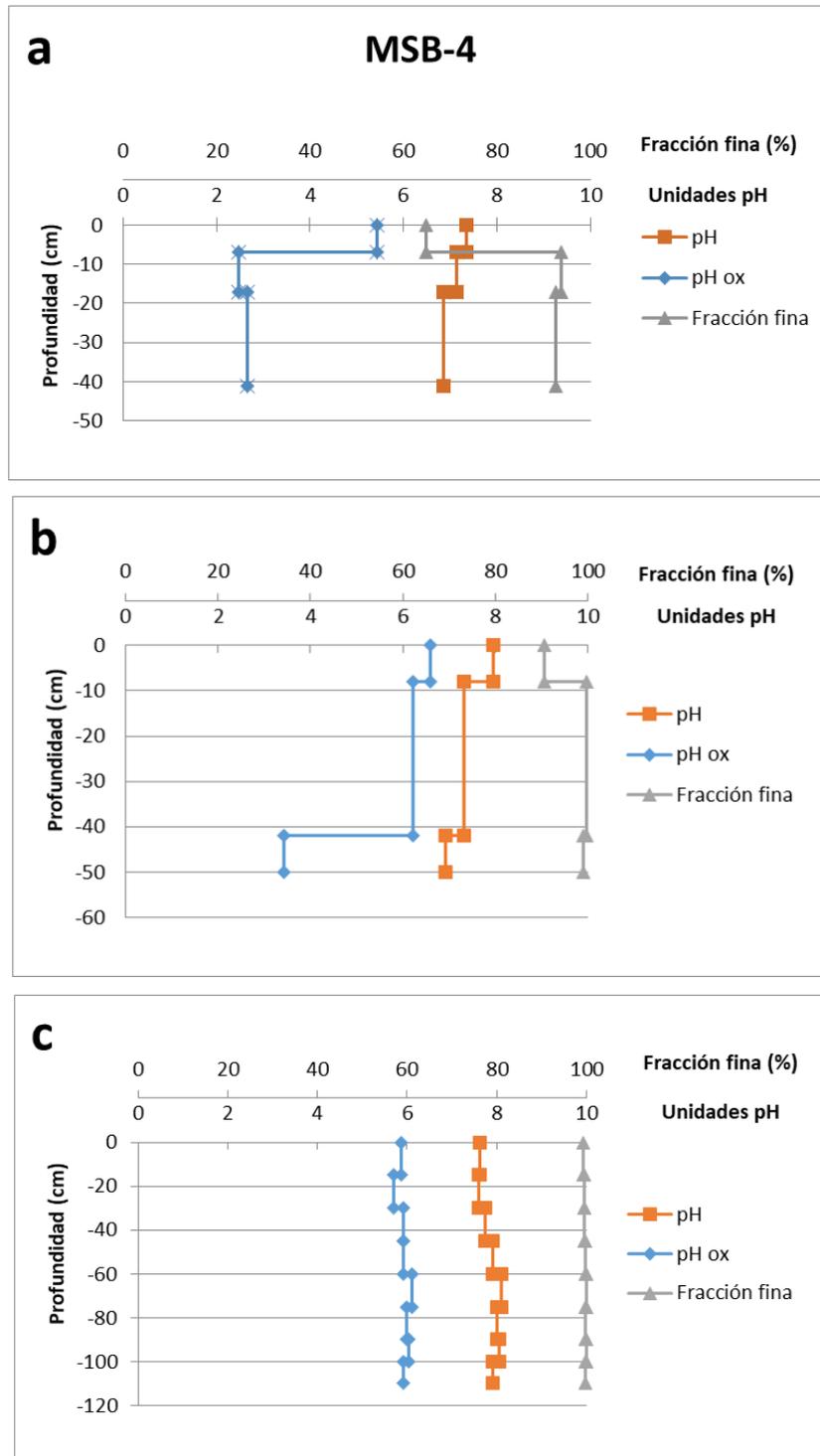


Figura 4.59. Variación de pH, pH de oxidación y fracción fina en perfiles donde se evaluó la presencia de materiales sulfídicos. a. Perfil MSB-4. b. MSB-13. c. MSB-21.

Durante el ensayo para materiales sulfídicos se discriminaron horizontes que respondieron de manera diferente, entre los que básicamente hubo dos tipos de respuestas (Figura 4.60). En primer lugar, un grupo de horizontes resultó muy inestable, dando lugar a descensos de pH de varias unidades hasta llegar a una elevada acidez de pH mínimo cercano a 3. Este grupo reducido está compuesto por cuatro horizontes de marisma baja, dentro de los cuales dos corresponden a la zona de marisma cercana a la boca del canal Jabalí (MSB-4 Bg y Cg) y los otros dos, uno de marisma baja (MSB-13 2Cg2) y otro de marisma alta (MSB-14 2Cg3), pertenecen al área vecina al puente de acceso a San Blas. Al observar estos horizontes en el MEB se identificó la presencia agregados de piritra framboidal, aunque también se encontraron cristales aislados de menor tamaño con hábito cúbico (Figura 4.61). Contrariamente, un gran número de horizontes, presentó alta estabilidad a medida que transcurría el tiempo, teniendo pequeñas fluctuaciones de pH que no superaron la unidad.

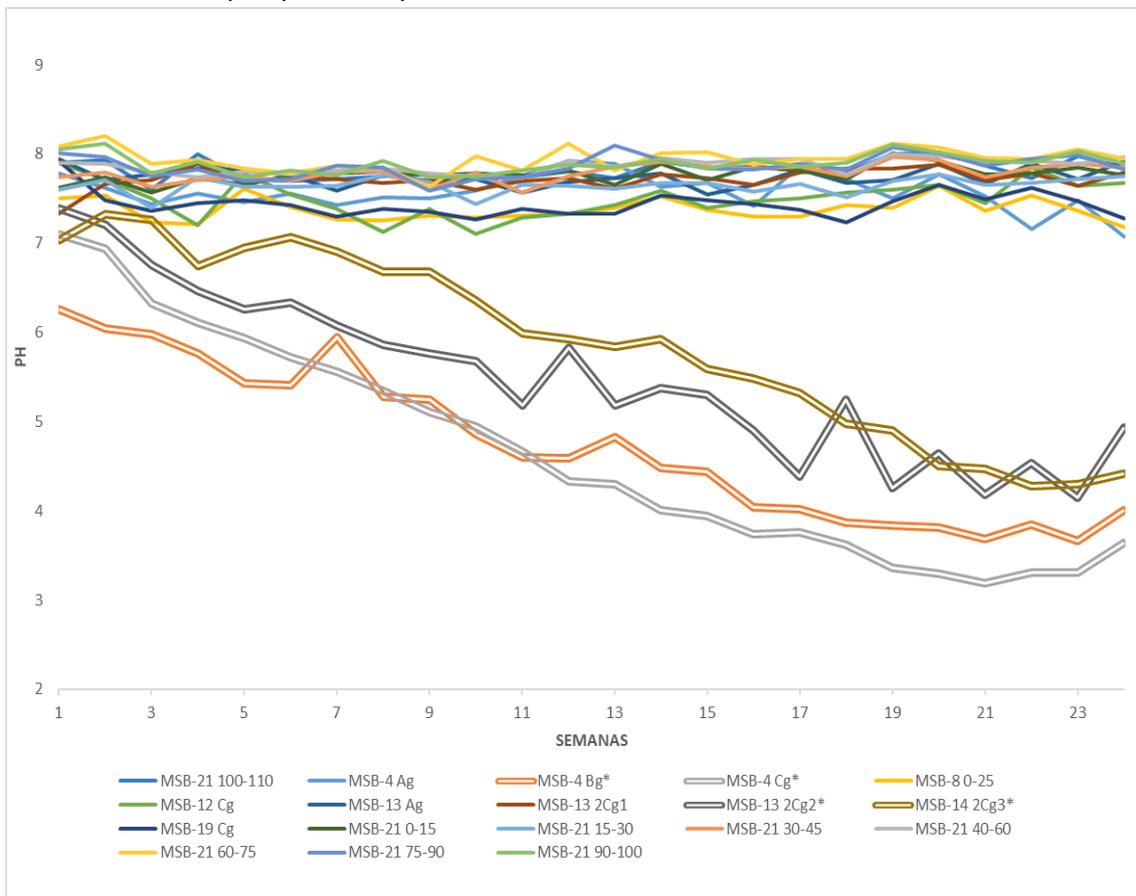


Figura 4.60. Ensayo de evaluación de materiales sulfídicos mediante el pH de incubación. *Horizontes con materiales sulfídicos.

También se evaluó el contenido de materia orgánica (tabla 4.5), ya que este componente puede amortiguar el descenso de pH por oxidación de sulfuros, al igual que la presencia de arcillas y carbonatos (Ahern *et al.*, 2004). Se reconoce una disminución del porcentaje de materia orgánica a medida que aumenta la distancia a la boca del canal Jabalí. Al analizar cada transecta, se obtiene que los horizontes de la transecta 1 contienen entre 0,45 y 0,51% en el perfil MSB-4 (margen Oeste), destacándose el horizonte Cg del perfil MSB-19 con 1,36% en la marisma margen Este. En los horizontes

del sector central de la transecta 3, el porcentaje varía de 0,39 a 0,52% en la marisma baja (MSB-13) y es de 0,47% en la marisma alta (MSB-14). Mientras que en el perfil MSB-21 de la marisma baja en la transecta 5 (margen Este), el contenido de materia orgánica es más alto en superficie, encontrándose en un rango de 0,29% a 0,1% en todo el perfil.

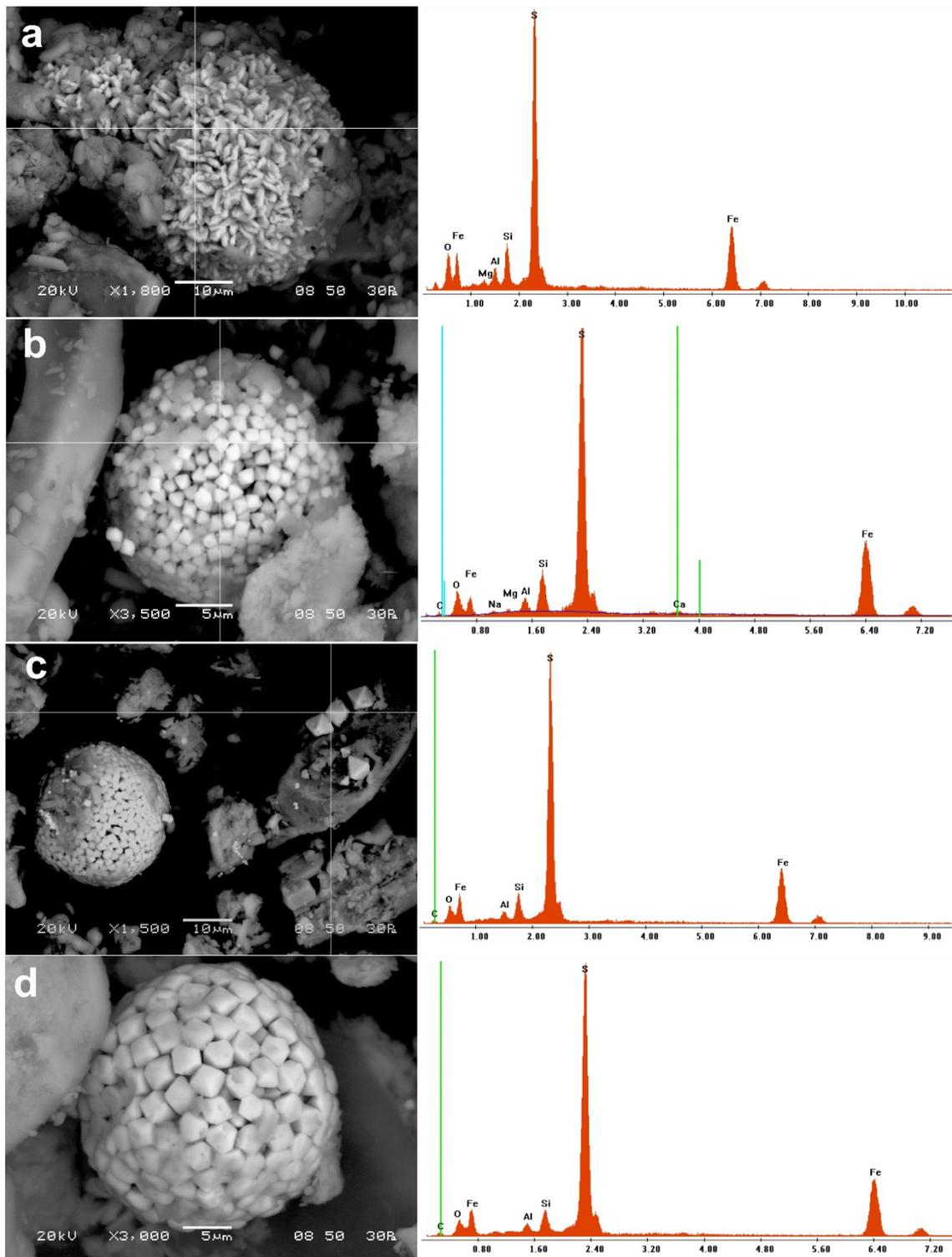


Figura 4.61. Observación submicroscópica mediante MEB en suelos sulfato ácido potenciales (Sulfaquents) y espectro EDS. Imágenes de piritas framboidales y cristales de pirita dodecaédricos en las muestras MSB-4 Bg (a), MSB-4 Cg (b), MSB-13 2Cg2 (c) y MSB-14 2Cg3 (d).

5.

HIDRODINÁMICA

5.1 Introducción

Las marismas constituyen humedales costeros donde existe una fuerte interacción entre los flujos de agua mareal y el agua subterránea. Esta interacción está condicionada por las características geomorfológicas y litológicas que presenten los suelos de los humedales (Brinson, 1993).

Dentro del sustrato de los humedales se reconocen dos zonas hidrológicas, una zona no saturada (también llamada zona vadosa o zona de aireación) en donde los poros en los sedimentos están ocupados por aire y agua, y una zona saturada en donde el espacio poral en los sedimentos está ocupado por agua. La superficie en que ambas zonas están en contacto se conoce como superficie freática. Particularmente en los humedales de tipo marismas, la interacción del agua subterránea con el agua mareal determina que la posición de la superficie freática sea muy variable (Carol *et al.*, 2011, Alvarez *et al.*, 2015). Considerando que el agua es el principal componente de los humedales, comprender la dinámica de los flujos de agua resulta esencial para estudiar los períodos de saturación de agua del suelo y el transporte de solutos disueltos, los cuales condicionan la salinidad y flujos de nutrientes (Montalto *et al.*, 2006; Troxler *et al.*, 2014; Xin *et al.*, 2022)

El objetivo de esta sección es definir la hidrodinámica del flujo subterráneo y su relación con los flujos mareales, así como también entre éstos y las características pedo-sedimentológicas del sustrato de la marisma.

5.2 Metodología

El diseño de la red de monitoreo hidrogeológico en la marisma constó de 32 freatómetros los cuales se localizaron en transectas perpendiculares al canal Jabalí (Figura 5.1), cuyo esquema de detalle se muestra en las Figuras 5.2, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.10, 5.11 y 5.13. Los freatómetros se efectuaron con barreno manual, siendo entubados con caños de PVC de 63 mm de diámetro con filtro ranurado en la base y prefiltro de grava. Las mediciones de niveles de agua subterránea se realizaron con sonda Solinst® Mini Water Level Meter Modelo 102 en diciembre 2018 y en mayo 2021. El posicionamiento y nivelación de la red de monitoreo se realizó con GPS diferencial Trimble® R2 y GPS Garmin Etrex 30. Con las cotas topográficas y los niveles freáticos medidos se construyeron secciones hidrogeológicas mostrando las diferentes alturas del nivel freático entre las mediciones de diciembre 2018 y mayo 2021. Tales comparaciones se llevaron a cabo en las transectas 1, 3 y 5, debido a que fueron las únicas relevadas en ambas campañas, ya que las restantes se trazaron durante la segunda campaña. Cabe resaltar que los monitoreos se efectuaron en tales meses buscando contraponer datos de períodos hídricos opuestos, correspondiendo el monitoreo de diciembre al período de déficit hídrico y el de mayo al período de exceso hídrico.

Con la intención de conocer las fluctuaciones diarias de los niveles subterráneos, se instalaron durante una semana 3 sensores de registro continuo de nivel. Dos sensores HOBO® fueron instalados en la margen Oeste de la transecta 1 y un sensor Solinst serie Levellogger modelo 3001 en la margen Este de la transecta 5. Las lecturas fueron compensadas barométricamente con el software Solinst Levellogger versión 4.1.2 para eliminar las fluctuaciones debidas a variaciones de la presión atmosférica. La elección de las ubicaciones de los sensores HOBO® obedece a obtener datos comparativos de marisma baja y alta en una misma transecta. En cambio, la instalación del sensor Solinst buscó contraponer los anteriores a un punto más alejado de la boca del canal y en un sustrato diferente como las barras arenosas.

Con el objetivo de conocer la influencia pedo-sedimentológica en la hidrodinámica de la marisma y a partir de los grupos texturales identificados en el capítulo anterior en el Subgrupo 1 de muestras, se estimó cualitativamente la permeabilidad de los horizontes. Cabe recordar que el Subgrupo 1 se compone por hasta 3 muestras por perfil, las cuales fueron seleccionadas a partir de las diferencias texturales, de tal forma que se aprecien los cambios granulométricos verticales. Así, el Subgrupo 1 quedó conformado por un total de 82 muestras de sedimentos. Para la estimación de la permeabilidad, se utilizó como base el criterio de la FAO (2009) que expone clases cualitativas de permeabilidad en función de la textura del suelo. Debido a que las texturas clasificadas por la FAO no coinciden plenamente con las usadas en este trabajo según los diagramas de Folk (1974), se realizó la equivalencia entre ambos criterios (Tabla 5.1).

Tabla 5.1. Equivalencia entre coeficiente de permeabilidad (K), permeabilidad y textura. Modificado de FAO, 2009.

K (m/seg)	Permeabilidad	Textura (FAO, 2009)	Grupo textural (Folk, 1974)
$10 - 10^{-1}$	Muy alta	Gruesa	Grava
$10^{-2} - 10^{-3}$	Alta	Mediana a moderadamente gruesa	Grava arenosa; Arena gravosa; Arena levemente gravosa; Arena
$10^{-4} - 10^{-5}$	Moderadamente alta	Moderadamente fina a mediana	Grava areno-fangosa; Arena fango-gravosa; Arena fangosa levemente gravosa
$10^{-6} - 10^{-7}$	Moderadamente baja	Moderadamente fina	Fango arenoso; Arena fangosa
$10^{-8} - 10^{-9}$	Baja	Arcillosa a Limosa	Fango
$10^{-10} - 10^{-11}$	Muy baja	Capas de arcilla densa	Capas endurecidas

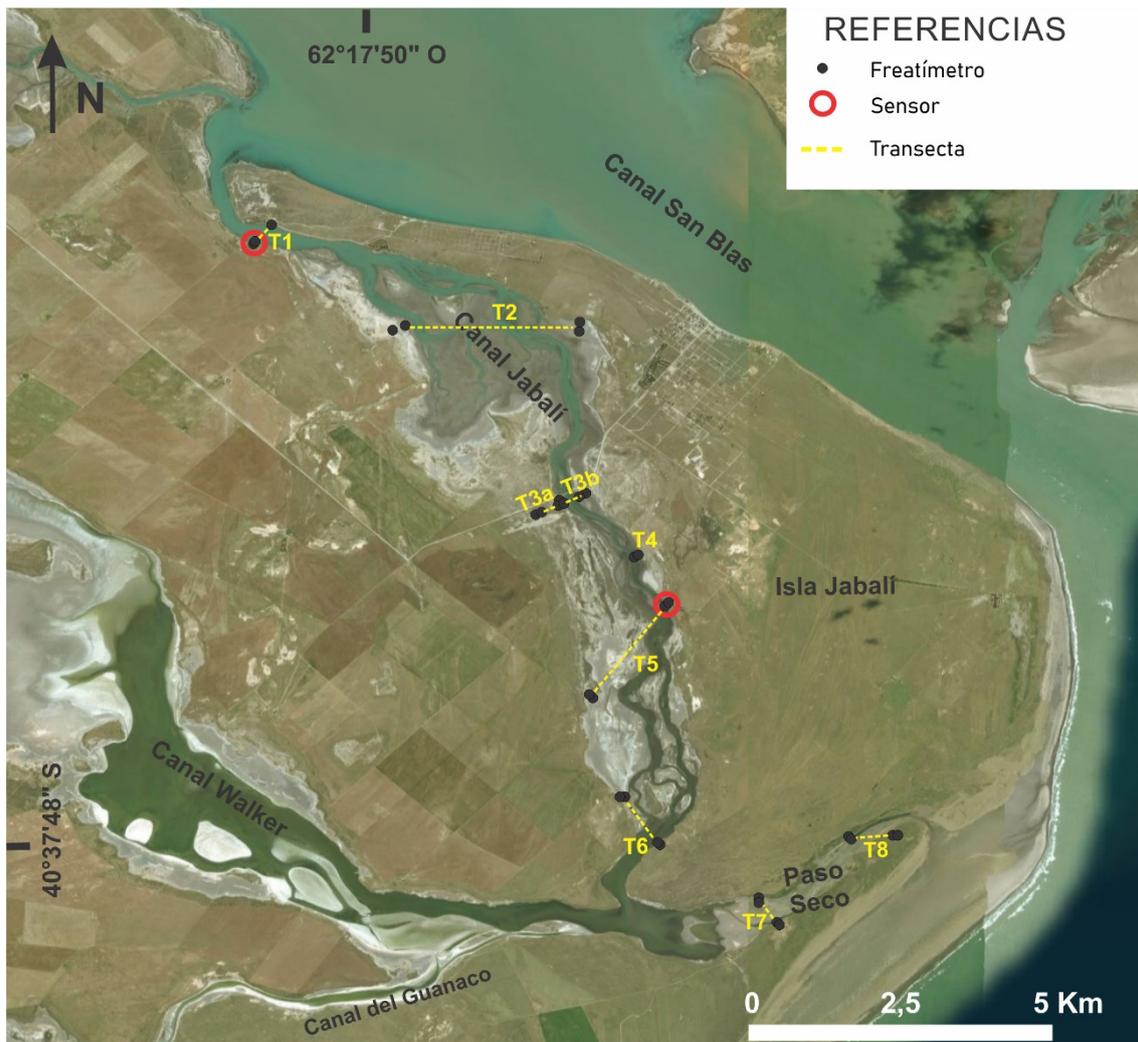


Figura 5.1. Localización de freaímetros por transectas y ubicación de los sensores de medición continua de nivel.

5.3 Resultados

A partir de las mediciones a lo largo de las transectas (Figura 5.1), puede observarse que en todos los casos el nivel freático medido en la marisma alta es más elevado que en la marisma baja, con valores entre 0,7 y 1,7 msnm y entre -0,3 y 1,5 msnm respectivamente. Asimismo, mediciones realizadas en los ambientes adyacentes (cordones litorales) mostraron niveles freáticos más elevados que en la marisma. Se define así, para todos los tramos del humedal que existe un flujo del agua subterránea desde los ambientes adyacentes al humedal hacia la marisma y dentro de ésta desde la marisma alta hacia la marisma baja, con un flujo de descarga en marea baja hacia el canal Jabalí. Por otro lado, de la comparación entre los monitoreos con sonda de nivel se desprende que no existe dentro de la marisma una relación clara entre las profundidades del nivel freático y el período hídrico en que fueron obtenidas. En cambio, los niveles medidos con sensores de registro continuo muestran que los niveles en la marisma (principalmente en la marisma baja) muestran una variación relacionada

con el comportamiento mareal. A continuación, se describe el comportamiento hidrodinámico observado en cada transecta estudiada.

Transecta 1

Se localiza cerca de la boca del canal Jabalí y atraviesa las unidades geomorfológicas de Planicie fangosa al Oeste y Cordón gravoso al Este. En ambos márgenes se halla bien discriminada la marisma alta de la marisma baja. En la margen Oeste la marisma alta al igual que la marisma baja, se desarrollan sobre sedimentos con permeabilidades moderadamente bajas (10^{-6} a 10^{-7} m/seg) en los horizontes superficiales. Por el contrario, en la margen Este la marisma tanto alta como baja se desarrollan sobre el Cordón gravoso presentando permeabilidades altas. Respecto de las mediciones de los niveles freáticos, en la margen Oeste el nivel freático no mostró variación entre las posiciones medidas en los dos períodos de muestreo, ubicándose a una cota mayor en la marisma alta respecto de la baja por lo que el flujo sería hacia el canal Jabalí (Figura 5.2). En la marisma alta el espesor de la ZNS llega a 0,53 m mientras que en la marisma baja el perfil del suelo se encuentra casi siempre saturado con el nivel muy próximo a la superficie. En la margen Este, el nivel freático del pozo MSB-19 mostró una diferencia de 0,52 m entre períodos, siendo también el flujo hacia el canal.

Si bien en los pozos MSB-4 y MSB-5 los niveles freáticos medidos con sonda manual no presentan variaciones considerables entre los dos períodos monitoreados, los datos de nivel freático registrados por los sensores de medición continua permiten visualizar la oscilación diaria que ocurre en el nivel freático producto de la marea. Al comparar el dato de nivel freático con el dato de marea pronosticado (Figura 5.3a y 5.3b), se observa que el nivel freático en la marisma asciende durante las pleamares. En esta comparación, el ascenso del nivel freático acompaña el pico de pleamar, pero con desfases temporales de hasta 1,5 hs en MSB-4 y 4 hs en MSB-5. Asimismo, se aprecia que el ascenso por oscilación mareal es mayor en MSB-4, alcanzando en este pozo una diferencia máxima entre picos ascendentes y descendentes de 1,18 m, mientras que en MSB-5 es considerablemente menor con valores de 0,54 m.

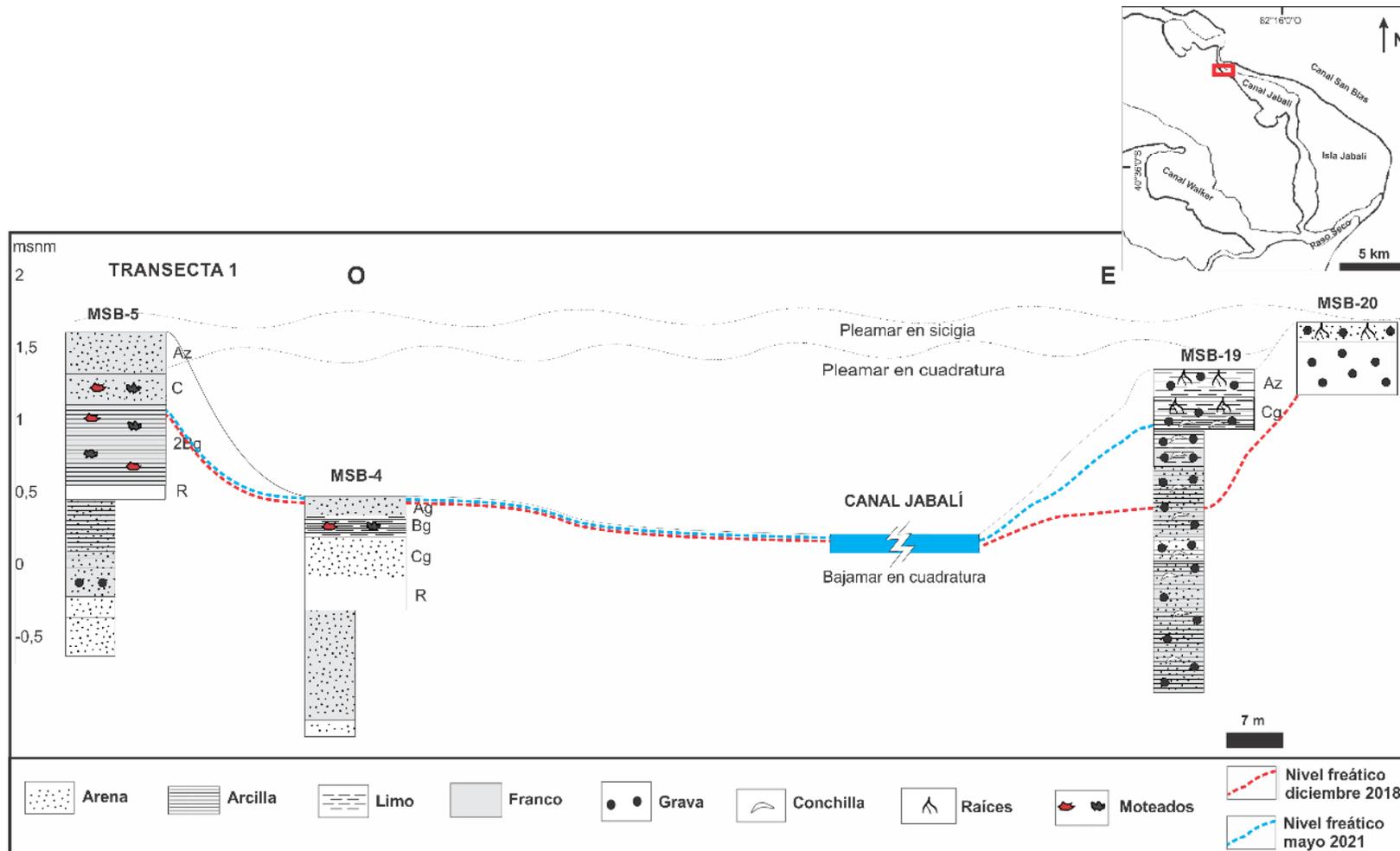


Figura 5.2. Esquema hidrogeológico de la transecta 1.

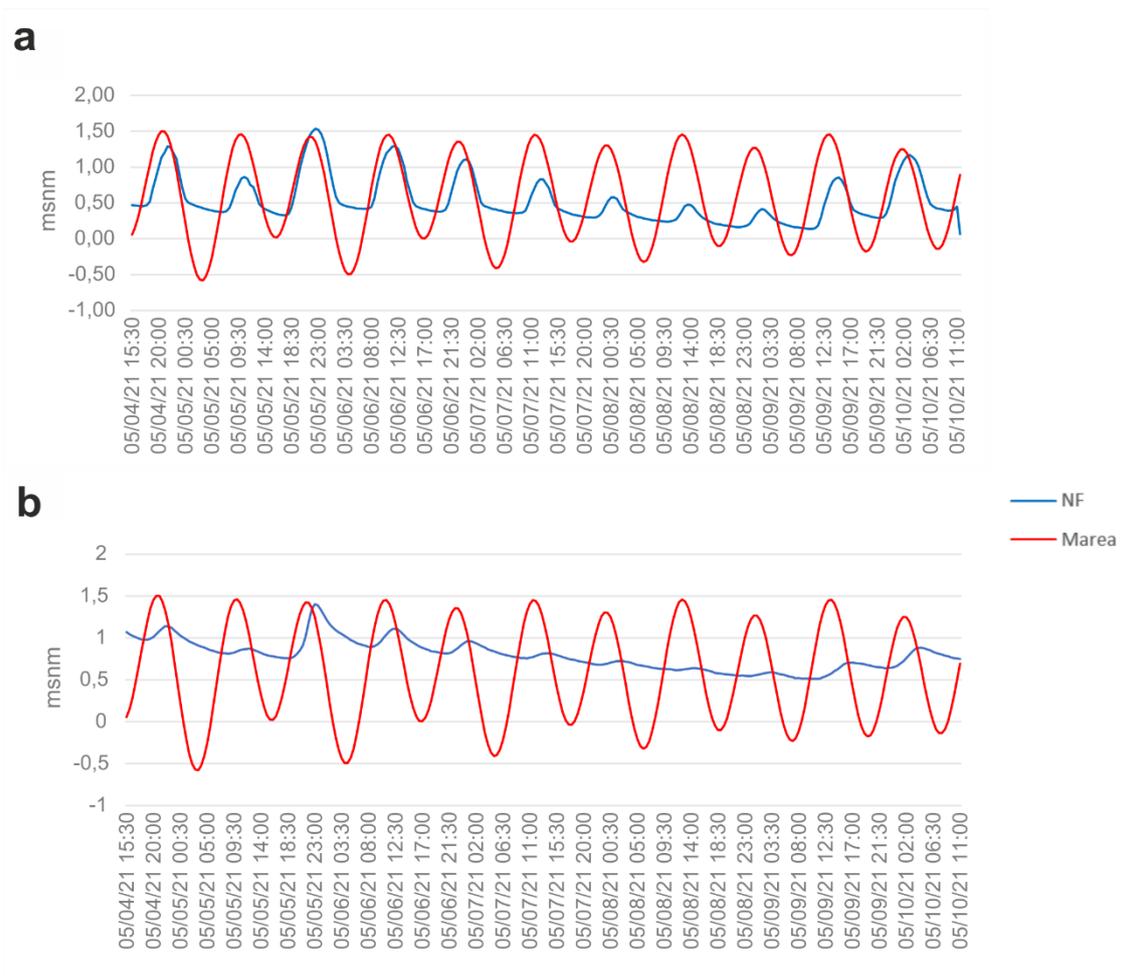


Figura 5.3. Registros de sensores de nivel freático (NF) y alturas de marea. a. Variaciones en MSB-4. B. Variaciones en MSB-5.

Transecta 2

Ubicada al Sur de la transecta anterior, abarcando íntegramente la Planicie fangosa. En la margen Oeste, en la marisma alta la permeabilidad es moderadamente alta (10^{-2} a 10^{-3} m/seg), mientras que en la marisma baja se pasa de sedimentos con permeabilidad moderadamente baja en superficie a moderadamente alta en profundidad. En cambio, en la margen Este los perfiles no exhiben variaciones verticales de permeabilidad, siendo este parámetro moderadamente alto en la marisma alta y moderadamente bajo en la marisma baja. En cuanto a los niveles freáticos, fueron medidos únicamente en mayo 2021, mostrando una mayor elevación en la marisma alta en las dos márgenes (Figura 5.4) y derivando en movimiento del flujo subterráneo desde la marisma alta hacia la marisma baja y hacia el canal Jabalí. Esto coincide con un aumento del espesor de la ZNS en la marisma alta respecto a la baja, teniendo un espesor en la margen Este de hasta 0,6 m.

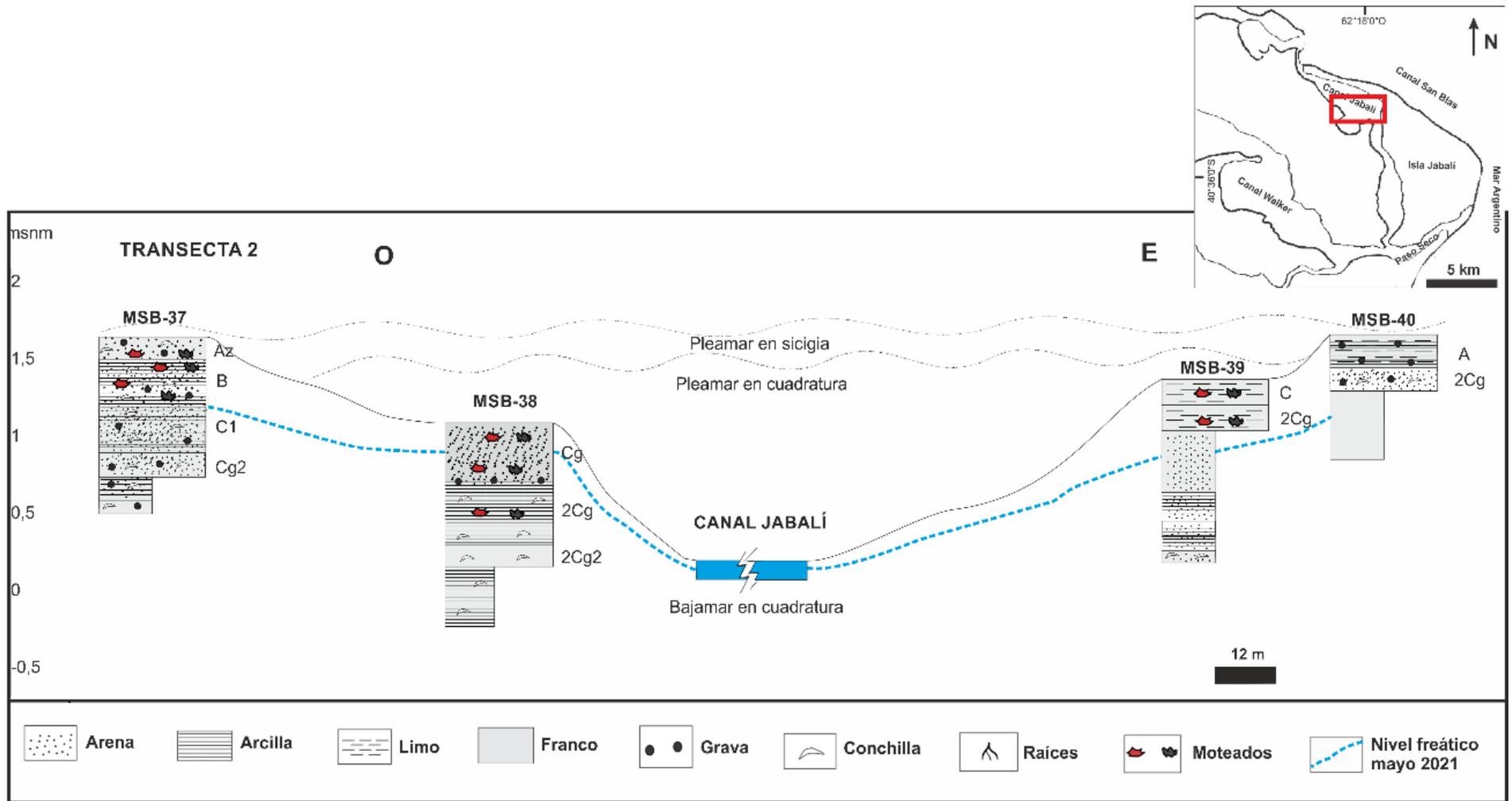


Figura 5.4. Esquema hidrogeológico de la transecta 2.

Transecta 3

Esta transecta se trazó paralelamente al puente de acceso al pueblo de Bahía San Blas y por su longitud, fue dividida para su mejor descripción en dos tramos: transecta 3a hacia el Oeste y transecta 3b hacia el Este, estando divididas por una extensa barra de arena que bifurca el curso del canal Jabalí.

- **Transecta 3a**

Desarrollada sobre la Planicie fangosa en la margen Oeste y en parte de la gran barra de arena en la margen Este. La marisma en la margen Oeste posee gran homogeneidad desde el punto de vista de la permeabilidad, siendo moderadamente baja (valores de 10^{-6} a 10^{-7} m/seg) tanto en marisma alta como baja. Por su parte, la margen Este en la marisma alta muestra permeabilidad moderadamente baja sin variaciones verticales, y en la marisma baja la permeabilidad aumenta de moderadamente baja a alta en profundidad. En referencia a los niveles freáticos, no se observan variaciones entre los dos períodos medidos. La altura del nivel freático acompaña la topografía siendo más elevado en la marisma alta respecto de la baja para ambas márgenes, por lo que el agua subterránea se desplaza hacia el canal Jabalí (Figura 5.5). El espesor de la ZNS es de aproximadamente 0,5 m, con excepción de la marisma alta en la margen Oeste donde alcanza 1,26 m.

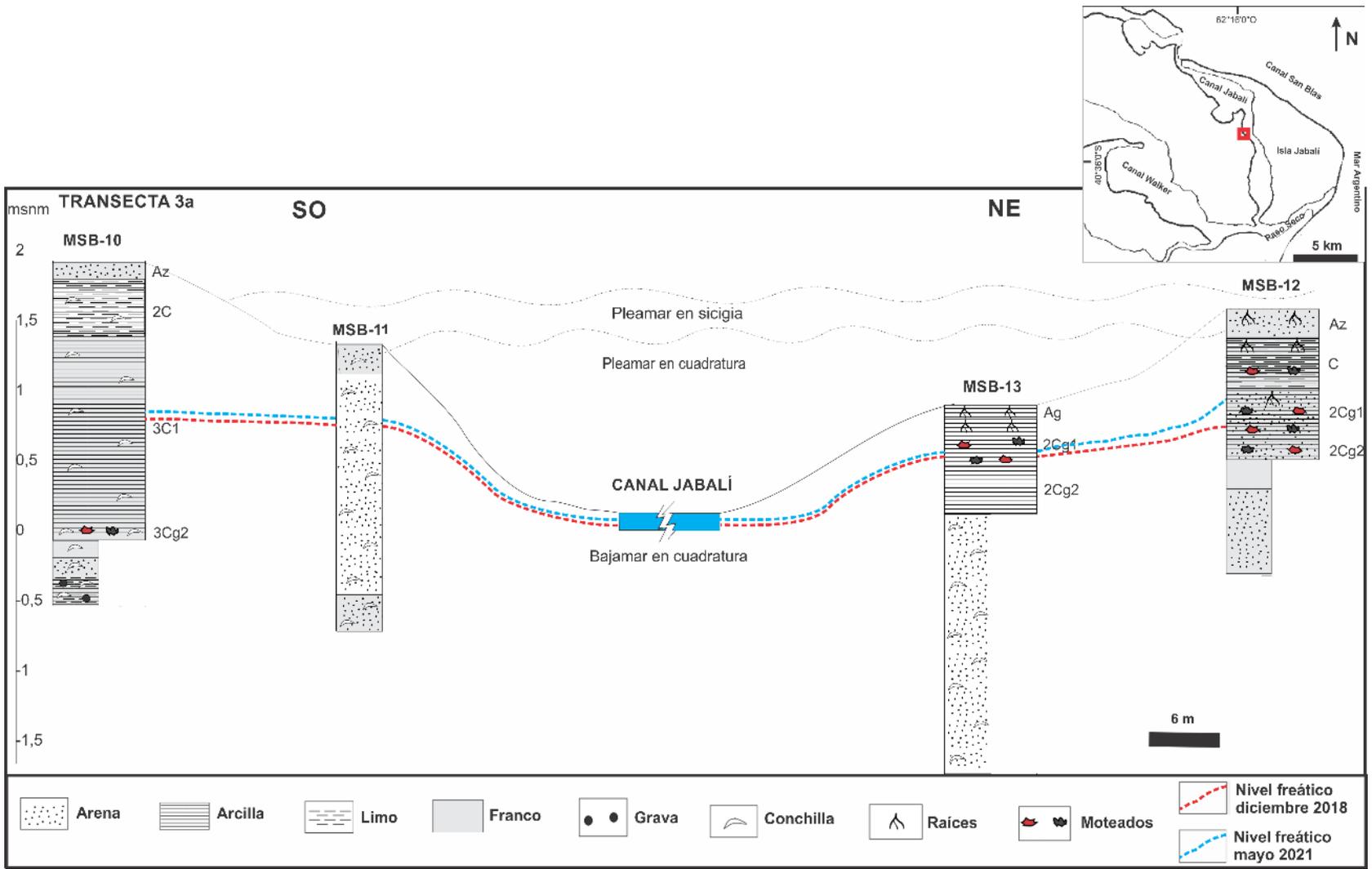


Figura 5.5. Esquema hidrogeológico de la transecta 3a.

- Transecta 3b

Este tramo comprende una porción de la barra de arena en la margen Oeste y de Planicie fangosa en la margen opuesta, estando separadas por un curso secundario del canal Jabalí. La margen Oeste representa un sector de marisma alta con permeabilidad moderadamente alta en superficie (derivada de los sedimentos arenosos) que disminuye en profundidad. Mientras que en la margen Este en la marisma alta y en la baja prevalece una permeabilidad moderadamente baja por la presencia de sedimentos areno-fangosos. Respecto a los registros de los niveles freáticos, se distinguen mayores alturas para el período de mayo 2021, especialmente en la margen Este, y desde ambas márgenes un sentido de flujo hacia el canal secundario (Figura 5.6). La ZNS en la marisma alta presentó el mayor espesor reconocido en el área estudiada, habiendo alcanzado 1,8 m en la margen Este en diciembre 2021.

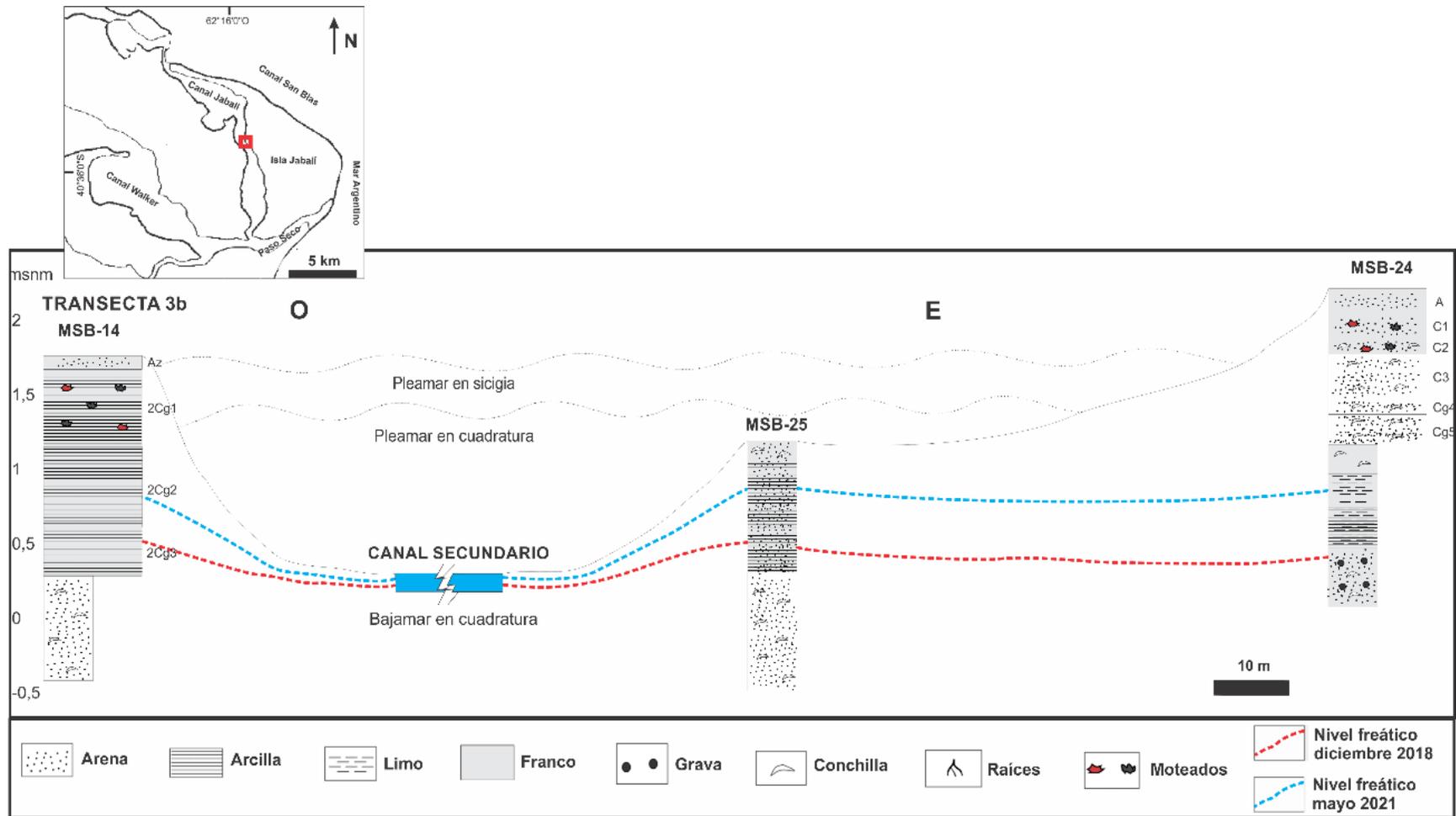


Figura 5.6. Esquema hidrogeológico de la transecta 3b.

Transecta 4

Posicionada al Sur del puente de acceso al pueblo de Bahía San Blas, la transecta se localiza sobre la margen Este del canal Jabalí en un ambiente de Barra arenosa, donde la permeabilidad resulta alta (10^{-2} a 10^{-3} m/seg) en el sector de marisma alta, caracterizado por sedimentos de la fracción arena. Y para la marisma baja los sedimentos limo-arcillosos superficiales determinan una permeabilidad moderadamente baja. Los datos de niveles freáticos relevados en mayo 2021 expresan una cota mayor en la marisma alta (Figura 5.7), definiendo así un flujo subterráneo desde la marisma alta hacia el canal Jabalí. El espesor de la ZNS medido en mayo de 2021 fue de 0,32 m en la marisma alta y de 0,52 m en la marisma baja.

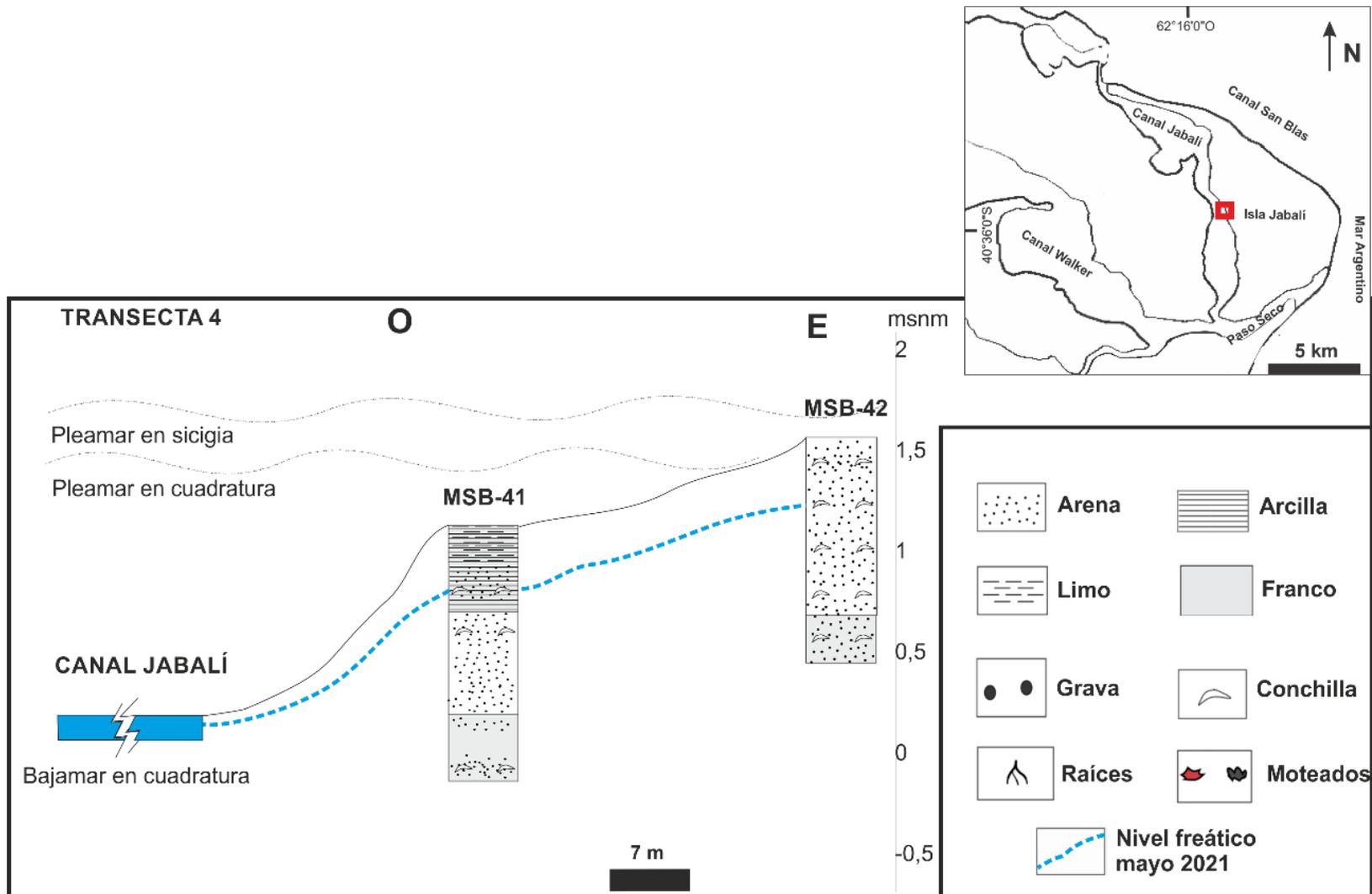


Figura 5.7. Esquema hidrogeológico de la transecta 4.

Transecta 5

Esta transecta se ubica en el tramo distal del canal Jabalí, diferenciándose la Planicie fangosa en la margen Oeste y una Barra arenosa en la margen Este. La margen Oeste está conforma por los perfiles MSB-29 y MSB-30, ambos correspondientes a marisma alta. Contrariamente, en la margen Este se distingue en forma clara un sector de marisma alta y otro de marisma baja. En la Planicie fangosa la permeabilidad de los sedimentos es similar en los dos perfiles, pasando de moderadamente baja en superficie a moderadamente alta en profundidad donde aparecen gravas. En cambio, en la Barra arenosa la permeabilidad es mayormente alta (10^{-2} a 10^{-3} m/seg). Las mediciones de los niveles freáticos registran en la margen Oeste que en MSB-30 en mayo 2021 el nivel freático estaba en una posición superior en comparación con diciembre 2018, opuesto a lo observado en MSB-29 (Figura 5.8). Esto difiere de la situación en la margen Este, donde no hubo variaciones entre períodos. No obstante, el agua subterránea fluye hacia el canal desde los sectores más elevados. Respecto a la ZNS, en la margen Oeste puede llegar al metro de espesor, mientras que en la margen Este en la marisma alta la ZNS es de 0,36 m y en la marisma baja el suelo se encuentra generalmente saturado.

Si bien la margen Este no mostró variaciones significativas entre los dos monitoreos efectuados con sonda manual de nivel, puede apreciarse la fluctuación diaria del agua subterránea en el registro continuo del sensor colocado en el pozo MSB-21 (Figura 5.9). Al comparar el nivel freático con la marea pronosticada, se reconoce que los cambios en el nivel freático responden coincidentemente con las pleamares y bajamares, aunque con tiempos de retardo que superan las 4,5 hs. Este retardo es superior al registrado en los pozos MSB-4 y MSB-5 (Figura 5.3). Además, las variaciones verticales en el agua subterránea de MSB-21 son de hasta 0,74 m, superando las observadas en MSB-5, pero siendo inferiores a las correspondientes a MSB-4.

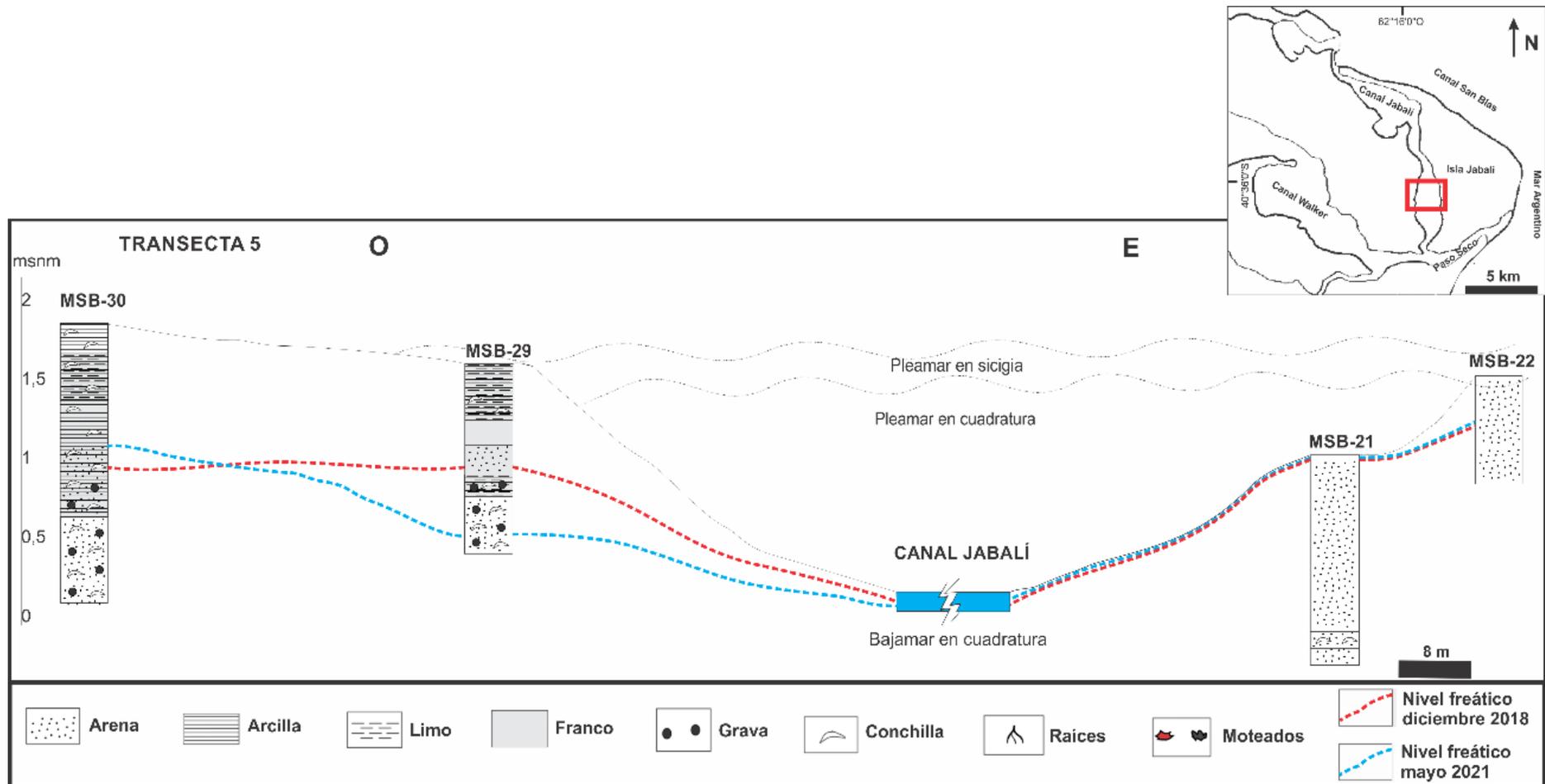


Figura 5.8. Esquema hidrogeológico de la transecta 5.

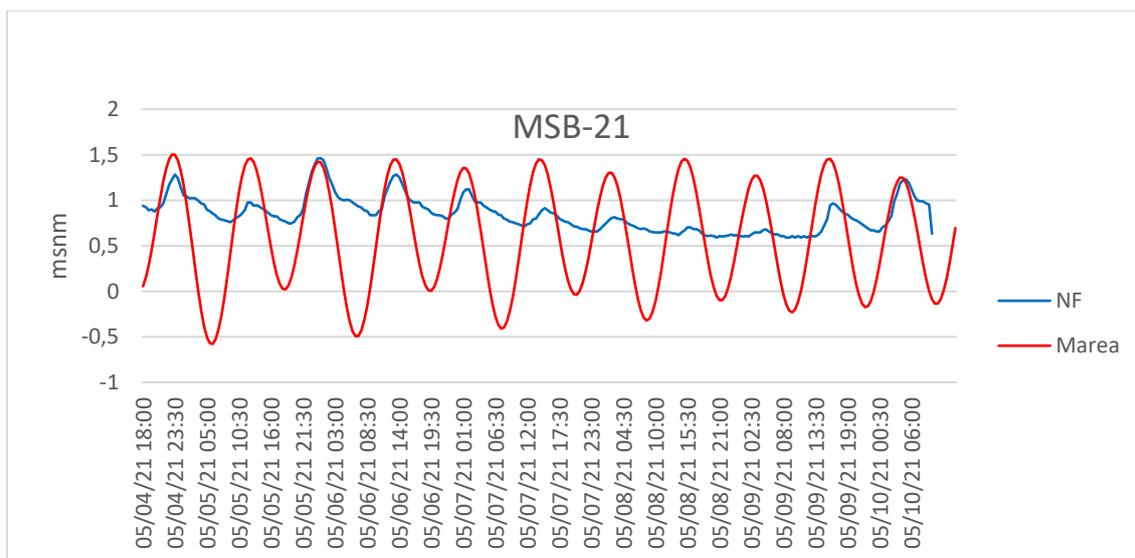


Figura 5.9. Registros de sensor de nivel freático (NF) y alturas de marea.

Transecta 6

Es la transecta más austral asociada al curso principal del Canal Jabalí, donde la marisma se sobrepone a Cordones gravosos a ambos lados del canal. En la margen Oeste se encuentran los perfiles MSB-43 en el sector de marisma baja y MSB-44 que posiblemente sea inundado por mareas extraordinarias. En la margen opuesta se evidencia notoriamente una separación en marisma baja y alta. La permeabilidad en la margen Oeste es semejante en los dos sectores de la marisma, siendo moderadamente alta (10^{-4} a 10^{-5} m/seg). Y en la margen Este la permeabilidad es muy alta en la marisma baja, a la vez que en la marisma alta es moderadamente alta. Del relevamiento con sonda nivel, se observa que el nivel freático de la marisma alta posee cotas mayores que el nivel de la marisma baja (Figura 5.10) indicando un flujo desde la marisma alta hacia el canal. También en la marisma alta la ZNS tiene mayor desarrollo que en la marisma baja, llegando a 0,48 m de espesor.

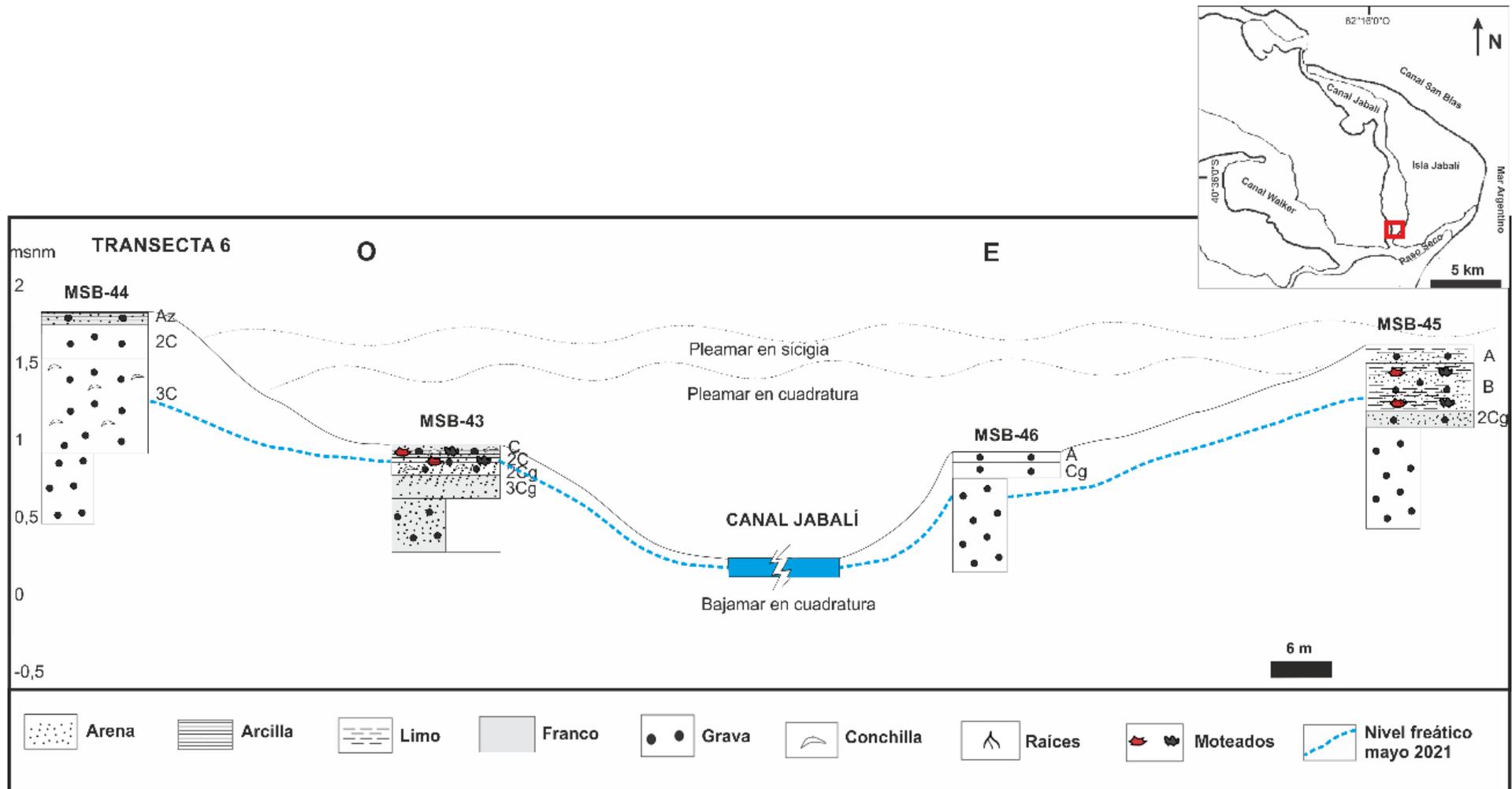


Figura 5.10. Esquema hidrogeológico de la transecta 6.

Transecta 7

Localizada en la región de Paso Seco, se caracteriza por corresponder enteramente a un ambiente de Planicie arenosa. La margen Oeste presenta en general permeabilidad moderadamente baja, debido a la participación de sedimentos finos en gran parte de los perfiles. Por el contrario, en la margen Este aumenta el contenido de arena y grava, lo que conduce a una permeabilidad moderadamente alta (10^{-4} a 10^{-5} m/seg) en la marisma. Con respecto a los sondeos de niveles freáticos, en la margen Oeste no existieron variaciones dentro de la marisma, a la vez que en la margen Este el nivel freático se halló más elevado en la marisma alta (Figura 5.11). El espesor de la ZNS es mayor en la marisma alta con hasta 0,28 m en la margen Oeste, pudiendo encontrarse totalmente saturado el suelo como fue el caso de la marisma baja en la margen Este.

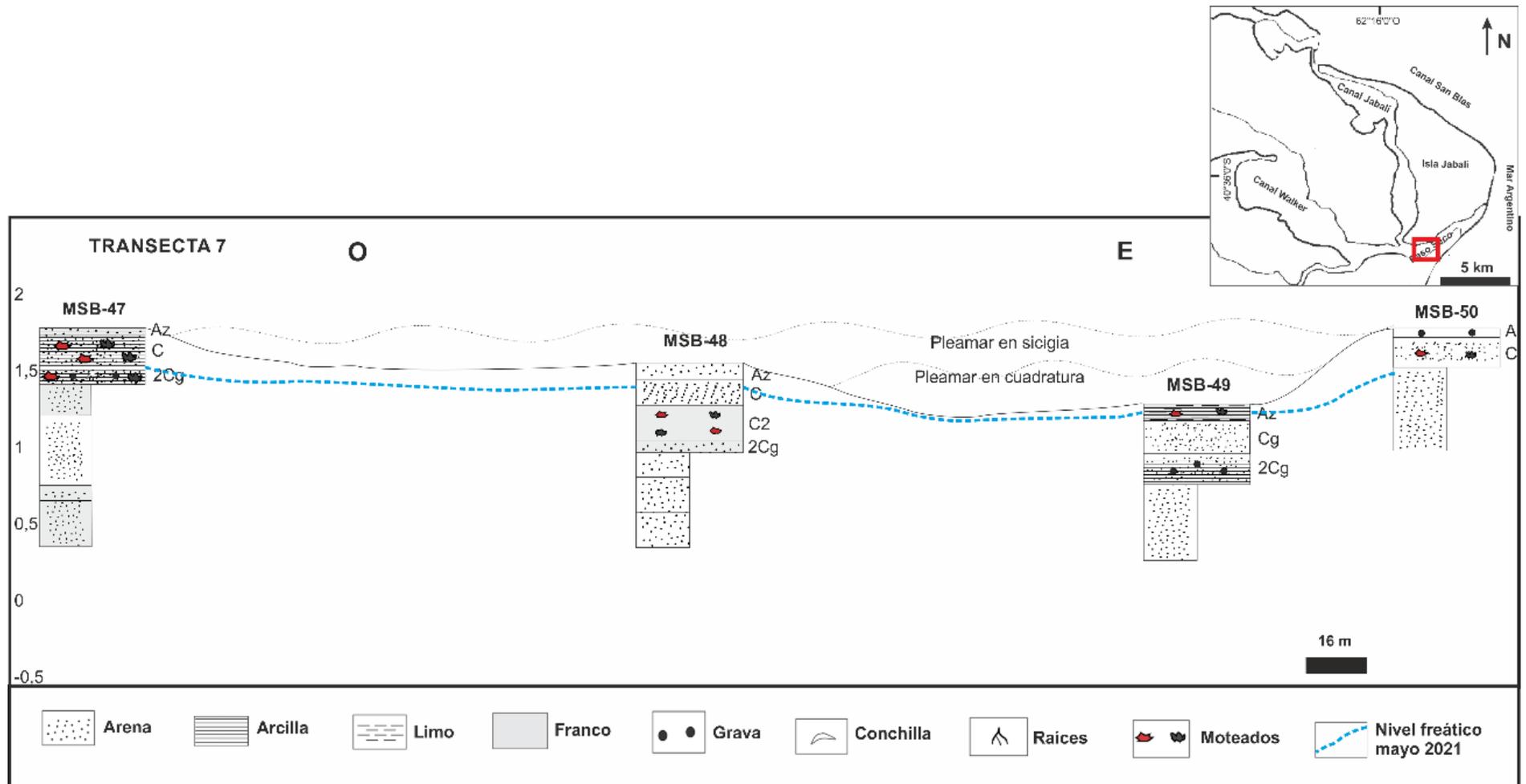


Figura 5.11. Esquema hidrogeológico de la transecta 7.

Transecta 8

Al igual que la transecta anterior, se ubica en la región de Paso Seco donde la marisma está vinculada a una extensa Planicie arenosa. Es importante aclarar que en esta transecta cambia la orientación del canal de mareas, denominándose sus márgenes Norte y Sur. Además, los perfiles topográficamente más altos en ambos márgenes (MSB-51 al Norte y MSB-54 al Sur) resultarían alcanzados por la marea en condiciones extraordinarias y/o en combinación con eventos de tormenta. Esto último queda demostrado por la presencia de matas microbianas deformadas por el flujo superficial en cercanía a los pozos (Figura 5.12). En la margen Norte los tramos superficiales exhiben permeabilidades moderadamente bajas que cambian a altas conforme aumenta la proporción de arena hacia los horizontes más profundos. Por su parte, en la margen Sur los perfiles contienen sedimentos arenosos y gravosos que les otorgan una permeabilidad alta (10^{-2} a 10^{-3} m/seg). Al analizar las mediciones de niveles freáticos, éstos se ubican en posiciones más elevadas en el sector más alto de la marisma (Figura 5.13). Por último, la ZNS muestra similitud en su espesor en los perfiles de la margen Norte, al mismo tiempo que en la margen Sur posee mejor expresión con hasta 0,75 m de espesor.



Figura 5.12. Fotografía de matas microbianas deformadas en proximidad al pozo MSB-51.

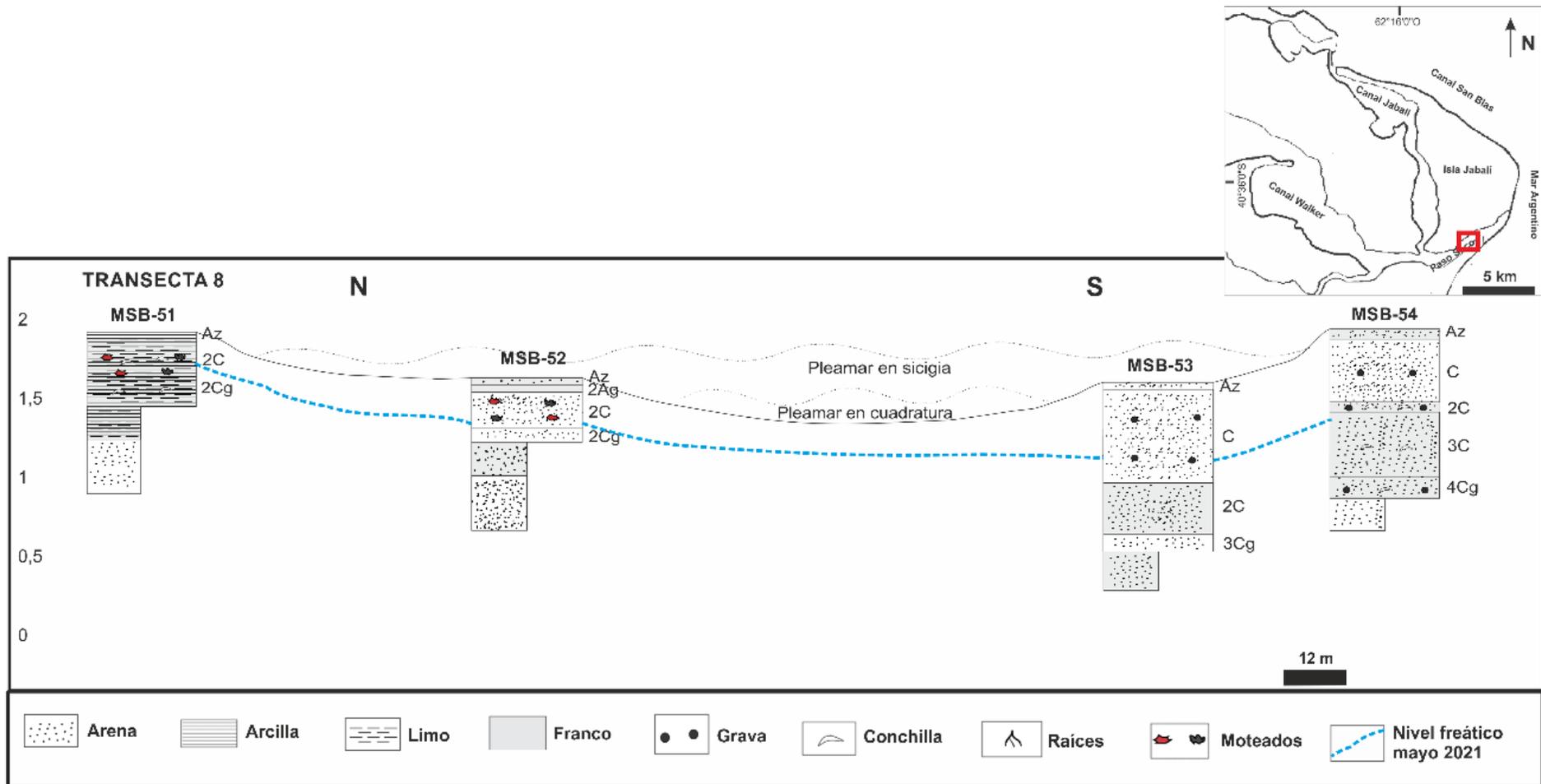


Figura 5.13. Esquema hidrogeológico de la transecta 8.

6.

HIDROQUÍMICA

6.1 Introducción

Las características ambientales y la composición química del agua subterránea en los humedales costeros dependen de la dinámica superficial y subterránea, el balance hídrico, las propiedades de los sedimentos y la geomorfología (Wilson y Morris 2012; Carol *et al.*, 2013). En cuanto al balance hídrico local, en zonas de clima árido a semiárido el exceso de evapotranspiración puede cumplir un rol clave en procesos interrelacionados como la precipitación de sales en los suelos y la salinización de los acuíferos (Alvarez *et al.*, 2015). Otro aspecto fundamental es el entendimiento de la relación entre los flujos superficiales y subterráneos en humedales costeros desde un punto de vista químico, de tal manera de dimensionar el grado de influencia del agua de mar en el aporte de iones y su participación en la geoquímica de la marisma.

En el área de estudio no existen investigaciones previas sobre la hidroquímica del humedal asociado al canal Jabalí, siendo esta información una valiosa herramienta para su gestión y protección. De este modo, el objetivo de este capítulo es estudiar las características químicas del agua subterránea de la marisma y la geomorfología adyacente, como así también del agua superficial del canal Jabalí. Asimismo, los resultados obtenidos permitirán identificar los principales procesos geoquímicos que condicionan las características del agua subterránea.

6.2 Metodología

La química del agua subterránea se estudió a partir del muestreo de la red de monitoreo descrita en el capítulo de hidrodinámica, la cual comprende a 32 freáticos dentro del área de marisma y 19 pozos de agua subterránea localizados en los ambientes adyacentes a la marisma. En cuanto al agua superficial, se recolectaron un total de 9 muestras a lo largo del curso principal del canal Jabalí y en la región de Paso Seco (Figura 6.1).

El primer muestreo se llevó a cabo en el ambiente de humedal y unidades geomorfológicas adyacentes en el mes de diciembre 2018 (37 muestras), mientras que el segundo muestreo en mayo 2021 (41 muestras) se concentró únicamente en el área del humedal, incluyendo al canal Jabalí y a la región de Paso Seco. En todos los puntos se realizó la medición de parámetros físico-químicos como el pH y la conductividad eléctrica (CE) *in situ* con un equipo multiparamétrico portátil. Previamente a la extracción de las muestras de agua subterránea los pozos fueron purgados. Para análisis de elementos mayoritarios se realizó el muestreo con botellas de PET de 500 mL.

Además, se tomaron muestras para la determinación de nutrientes las cuales fueron refrigeradas hasta el momento de realizar las determinaciones.

Las muestras para estudio de metales y elementos trazas fueron recogidas en recipientes de 100 mL, acidificadas con HNO₃ para asegurar un pH menor a 2 y mantener en solución los metales, habiendo sido previamente filtradas. Mientras que para determinación isotópica de δ²H y δ¹⁸O se recolectaron volúmenes de 50mL, evitando que al cerrarlas existiera una capa de aire dentro que pudiera ocasionar cambios en la composición isotópica.

En todas las muestras se determinó el contenido de elementos mayoritarios mediante técnicas estandarizadas (APHA, 1998) en los laboratorios del Instituto Patagónico para el Estudio de Ecosistemas Continentales (IPEEC-CENPAT) y del Centro de Investigaciones Geológicas (CIG). La concentración de carbonato (CO₃⁻²), bicarbonato (HCO₃⁻), cloruro (Cl⁻), calcio (Ca⁺²) y magnesio (Mg⁺²) se determinó por métodos volumétricos; mientras que la de sodio (Na⁺) y potasio (K⁺) se determinó por fotometría de llama. En cuanto al nitrato (NO₃⁻), ortofosfato (PO₄⁻³) y sílice reactiva soluble, fueron determinados a través de espectrofotometría, mientras que el sulfato (SO₄⁻²) por turbidimetría, todos utilizando un espectrofotómetro UV - Visible de doble haz. El contenido de elementos traza (As, Ba, Co, Cu, Fe, Ga, Li, Mn, Ni, Rb, Se, Sr y U) se determinó mediante un equipo ICP-MS (límite de detección 0,001 mg/L). Por su parte, las relaciones isotópicas δ²H y δ¹⁸O, se determinaron en el laboratorio del Grupo de Estudios Ambientales (GEA) de la Universidad de San Luis, según el método CRDS (Cavity Ring-Down Spectroscopy), utilizando un analizador Picarro L2120-i acoplado a un vaporizador A0211 de alta precisión. Los resultados se expresan en δ, lo cual se define como:

$$\delta = 1000(R_s - R_r) / R_r \text{‰}$$

- δ: desviación isotópica en ‰ relativo a Vienna Standard Mean Ocean Water (V-SMOW) (Gonfiantini, 1978)
- s: muestra
- r: referencia internacional
- R: relación isotópica (²H/¹H, ¹⁸O/¹⁶O).

Los resultados obtenidos fueron analizados a partir de gráficos de clasificación de facies hidroquímicas, relaciones iónicas e isotópicas utilizando el software Diagrammes (Simler, 2009). Por otro lado, los índices de saturación (IS) se estimaron mediante el software PHREEQC 2.13 (Parkhurst y Appelo, 1999).

Los datos isotópicos δ²H y δ¹⁸O se compararon con las líneas meteóricas locales calculadas para una región de Península Valdés en Chubut (δ²H = 7,48*δ¹⁸O + 1,2 según Alvarez *et al.*, 2015) y para una zona cercana a la localidad de Lobería en Buenos Aires (δ²H = 7,73±0,28*δ¹⁸O + 8,89±1,67 según Martínez *et al.*, 2011). También se definió una recta de mezcla, cuyos miembros extremos pertenecen a la composición media del canal Jabalí y la composición media de los Cordones litorales adyacente al humedal.

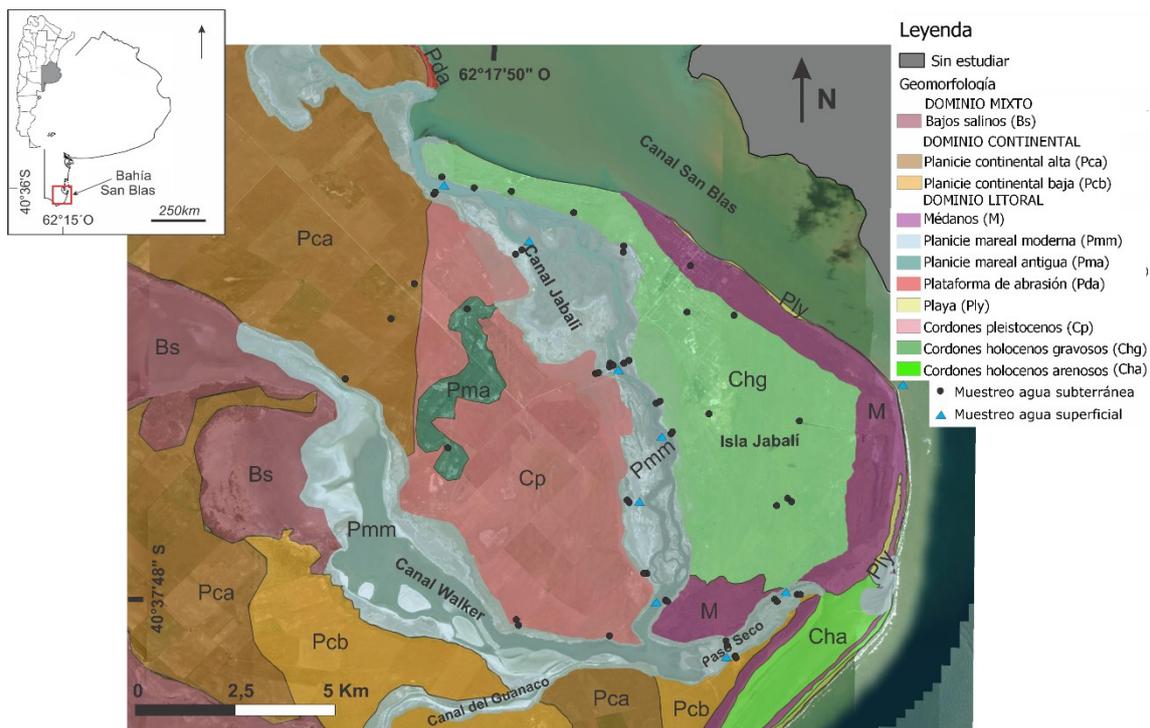


Figura 6.1. Distribución de los puntos de muestreo en distintas unidades geomorfológicas y en canales mareales.

6.3 Resultados

6.3.1. Salinidad

Los valores de CE registrados muestran variaciones en la salinidad del agua en las distintas unidades geomorfológicas (ver Anexo II). Para el muestreo de diciembre 2018 el agua superficial en el canal Jabalí registra una tendencia al aumento en la CE desde la boca del canal hacia los sectores más interiores con valores entre 49,5 y 99,5 mS/cm (Figura 6.2). En el agua subterránea de la marisma la CE sigue una tendencia creciente similar a la medida en el agua superficial del canal Jabalí, con un rango entre 21,2 y 99,5 mS/cm. Dentro de esta unidad los mayores valores de CE se obtuvieron en la marisma alta con un promedio de 68,9 mS/cm, siendo el de la marisma baja de 58,6 mS/cm.

En el muestreo de mayo 2021 se encontró a lo largo del canal Jabalí un rango de CE de 50,4 – 88,5 mS/cm (Figura 6.3). Los datos del agua subterránea en la marisma reflejan muy poca variación con respecto al período anterior, hallándose valores de CE entre 23,5 y 102,5 mS/cm. La media de la marisma alta resultó en 69,9 mS/cm y la de la marisma baja en 68,1 mS/cm. Asimismo, en Paso Seco el agua superficial posee CE entre 62,3 y 77,1 mS/cm. En esta región la marisma registra una media superior a la zona del canal Jabalí con 83,9 mS/cm (Tabla 6.1).

Por otro lado, en los ambientes adyacentes a la marisma se registra en los Cordones pleistocenos valores medios de CE de 22,6 mS/cm y en los Cordones holocenos de 2,6 mS/cm (ver Anexo II). Las otras formas muestreadas como la Planicie continental alta y la Planicie mareal antigua, exhiben una CE promedio similar con valores de 12,6 y 11,5 mS/cm, respectivamente (Figura 6.2a, Tabla 6.1 y Anexo II).

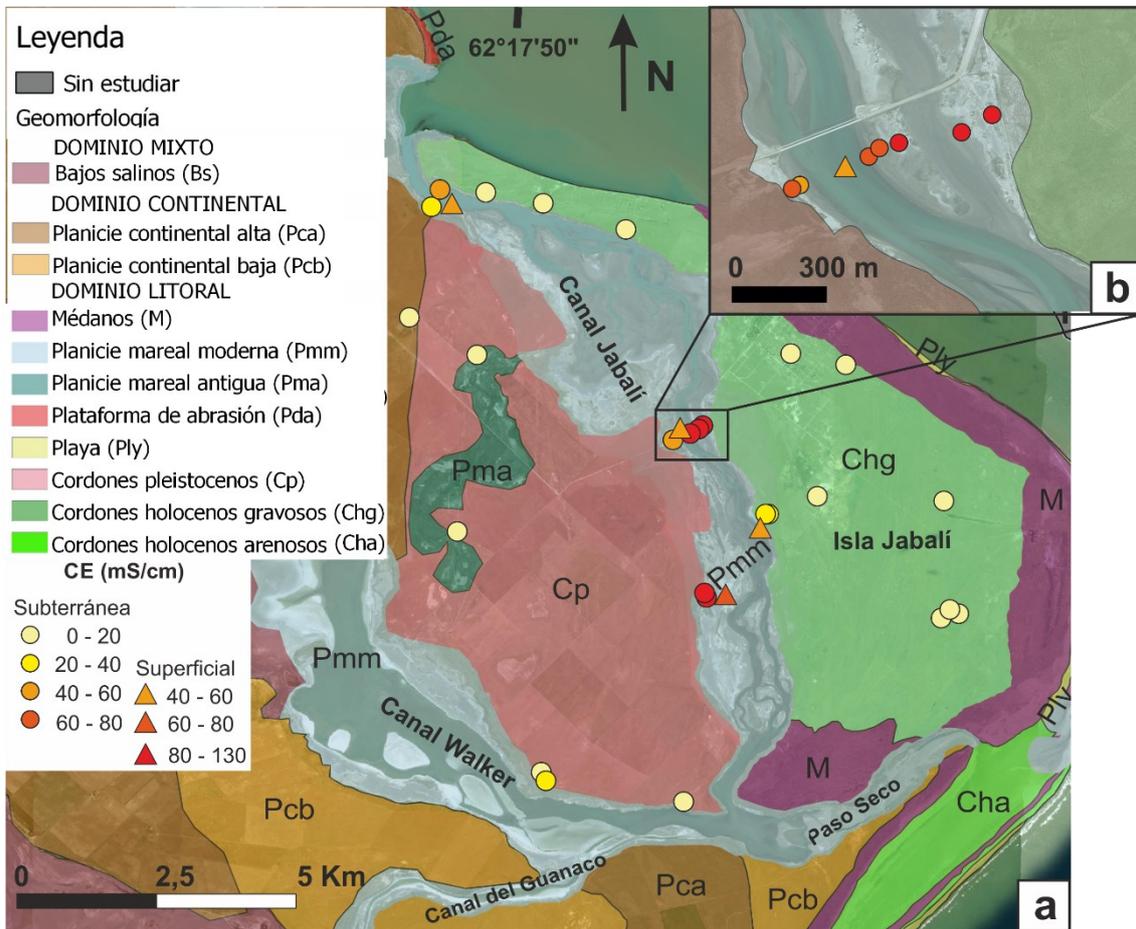


Figura 6.2. a. Distribución de la CE en el muestreo realizado en diciembre 2018. b. Detalle de las muestras localizadas en la transecta cercana al puente de acceso a Bahía San Blas.

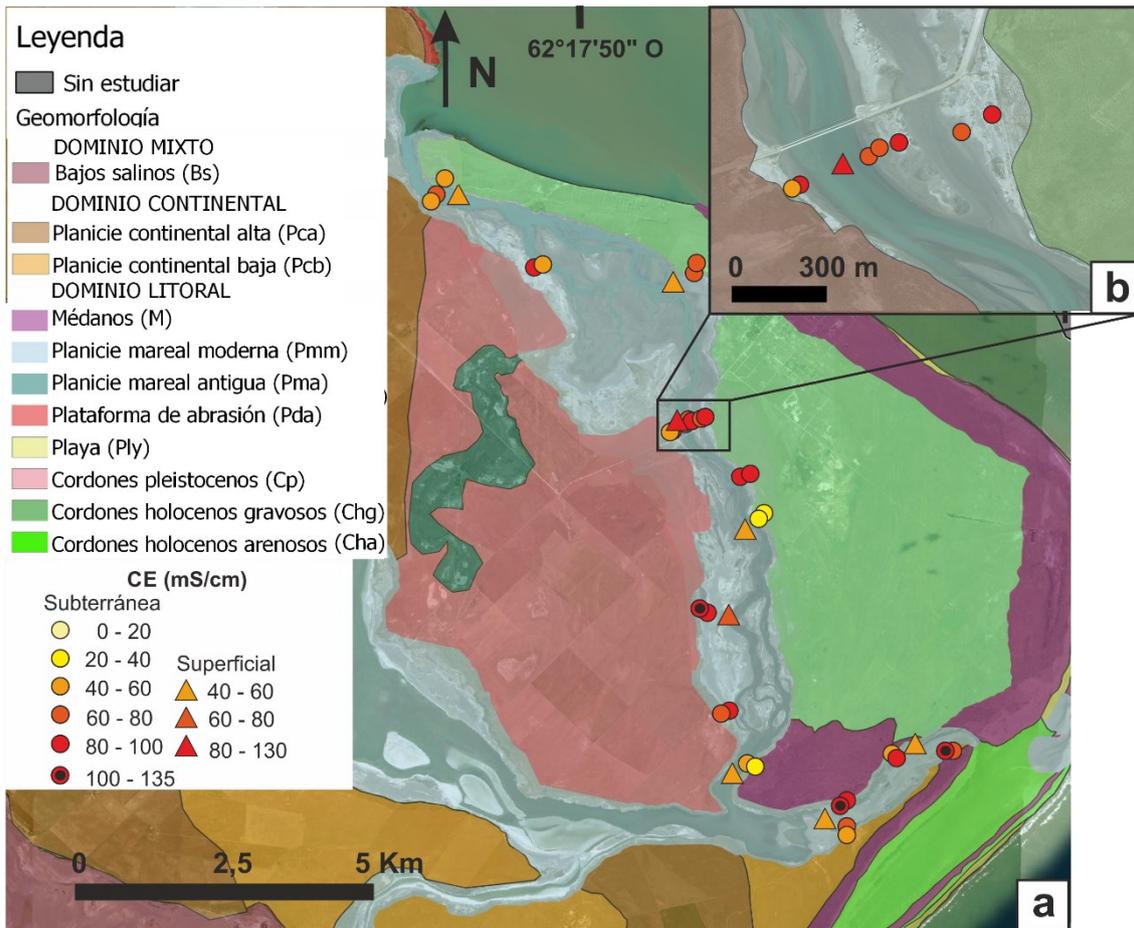


Figura 6.3. a. Distribución de la CE en el muestreo realizado en mayo 2021. b. Detalle de las muestras localizadas en la transecta cercana al puente de acceso a Bahía San Blas.

Tabla 6.1. Valores de CE para las muestras de agua superficial y subterránea según sector de muestreo para los dos monitoreos realizados. *Muestras de agua superficial.

Muestreo	Área	Geomorfología	CE (mS/cm)	
			Rango	Promedio
2018	Humedal y geofomas adyacentes	Marisma alta	21,2 - 99,5	68,9
		Marisma baja	26,8 - 85,8	58,6
		Canal de marea*	49,5 - 71,6	58,3
		Cordones pleistocenos	13,6 - 37,5	22,6
		Planicie continental alta	5,2 - 16,9	12,6
		Planicie mareal antigua	11,3 - 11,7	11,5
		Cordones holocenos	0,79 - 7,96	2,6
2021	Humedal - Canal Jabalí	Marisma alta	23,5 - 102,5	69,9
		Marisma baja	35,1 - 90	68,1
		Canal de marea*	50,4 - 88,5	62,1
	Humedal - Paso Seco	Marisma alta	52,0 - 133,5	83,9
		Canal de marea*	62,3 - 77,1	69,7

6.3.2. Facies químicas y elementos mayoritarios

Los resultados de las determinaciones analíticas de elementos mayoritarios para las dos campañas de muestreo permitieron la caracterización hidroquímica del humedal y las geoformas adyacentes (ver Anexo II). En base a los contenidos porcentuales de iones mayoritarios las muestras se separan en el diagrama de Piper (Piper 1953) en dos grupos asociados a facies Na-Cl y Na-HCO₃/Cl (Figuras 6.4 y 6.5). Todas las muestras que comprenden el humedal son cloruradas sódicas, tanto de la marisma alta como de la marisma baja.

Para el monitoreo de 2018 en el humedal del canal Jabalí, en la marisma alta el promedio de Cl⁻ es de 26739 mg/L y de Na⁺ de 14612 mg/L con un pH medio de 7,5. En la marisma baja las concentraciones promedio son de 20822 mg/L para el Cl⁻ y 10200 mg/L para el Na⁺, siendo similares los valores de pH. En el canal de marea, el Cl⁻ promedia 21427 mg/L y el Na⁺ 11012 mg/L con valores de pH levemente alcalinos cercanos a 8,3.

Con respecto al monitoreo de mayo 2021 en el humedal, los contenidos iónicos son mayores a los anteriormente descritos. La marisma alta tiene un promedio de Cl⁻ igual a 32242 mg/L y 14900 mg/L de Na⁺ con pH medio de 7,8, siendo éste similar al de la marisma baja. Esta última posee registros medios de 32117 mg/L de Cl⁻ y 14841 mg/L de Na⁺. Por su parte, en el agua del canal Jabalí las concentraciones promedio son de 38425 mg/L de Cl⁻ y 14063 mg/L de Na⁺. Por otro lado, en Paso Seco la marisma muestra concentraciones de Cl⁻ y Na⁺ con valores promedio de 46949 y 21250 mg/L, respectivamente, y las muestras de agua superficial un promedio de Cl⁻ de 33414 mg/L y de Na⁺ de 15562 mg/L.

De las geoformas adyacentes al ambiente de humedal, en los Cordones holocenos el agua subterránea es bicarbonatada sódica con concentraciones medias de HCO₃⁻ de 362 mg/L y de Na⁺ de 55 mg/L para el Na⁺, siendo el pH medio de 8,1. En los Cordones pleistocenos y en la Planicie continental alta el agua subterránea es clorurada sódica. El promedio de Cl⁻ es 4026 mg/L y el de Na⁺ 2487 mg/L en la Planicie continental alta, mientras que los Cordones pleistocenos promedian 2707 mg/L de Cl⁻ y 1687 mg/L de Na⁺. El pH promedio en ambas unidades es de 7,7.

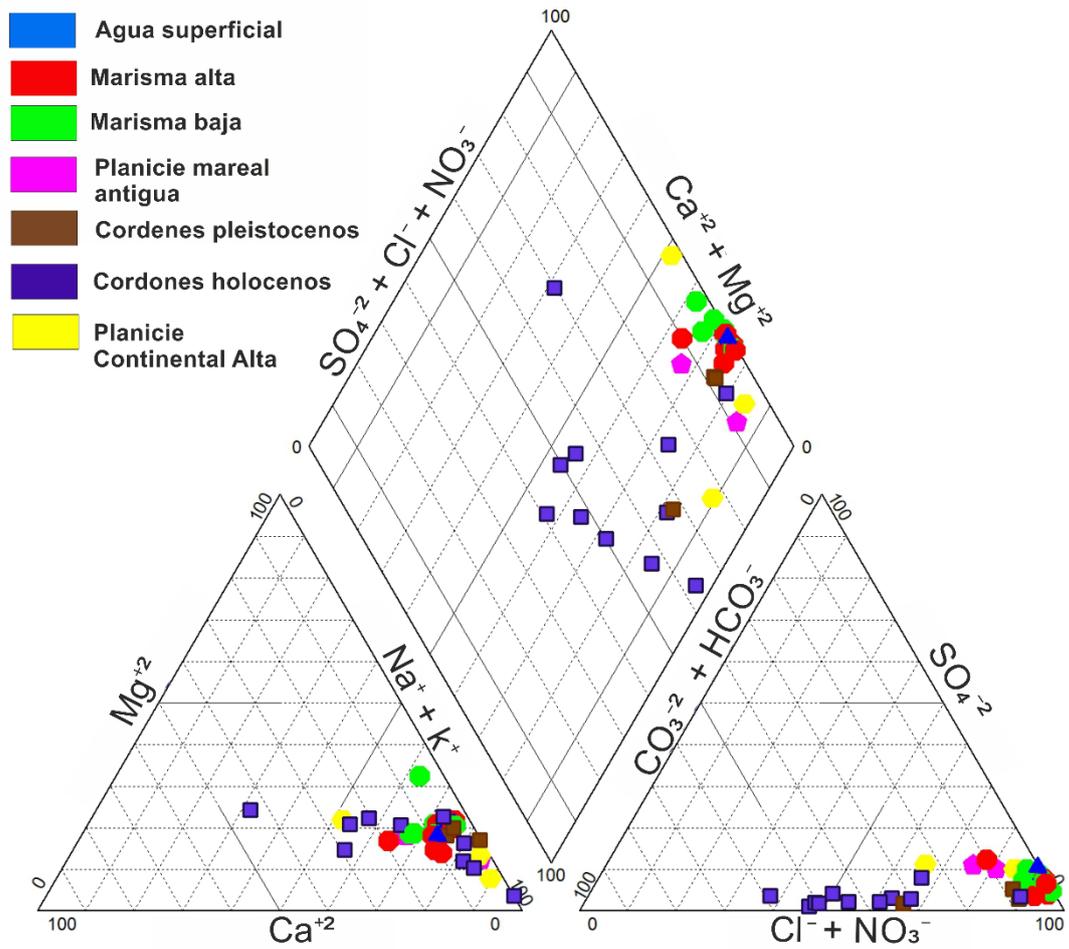


Figura 6.4. Diagrama Piper de las muestras subterráneas y superficiales del muestreo de diciembre 2018.

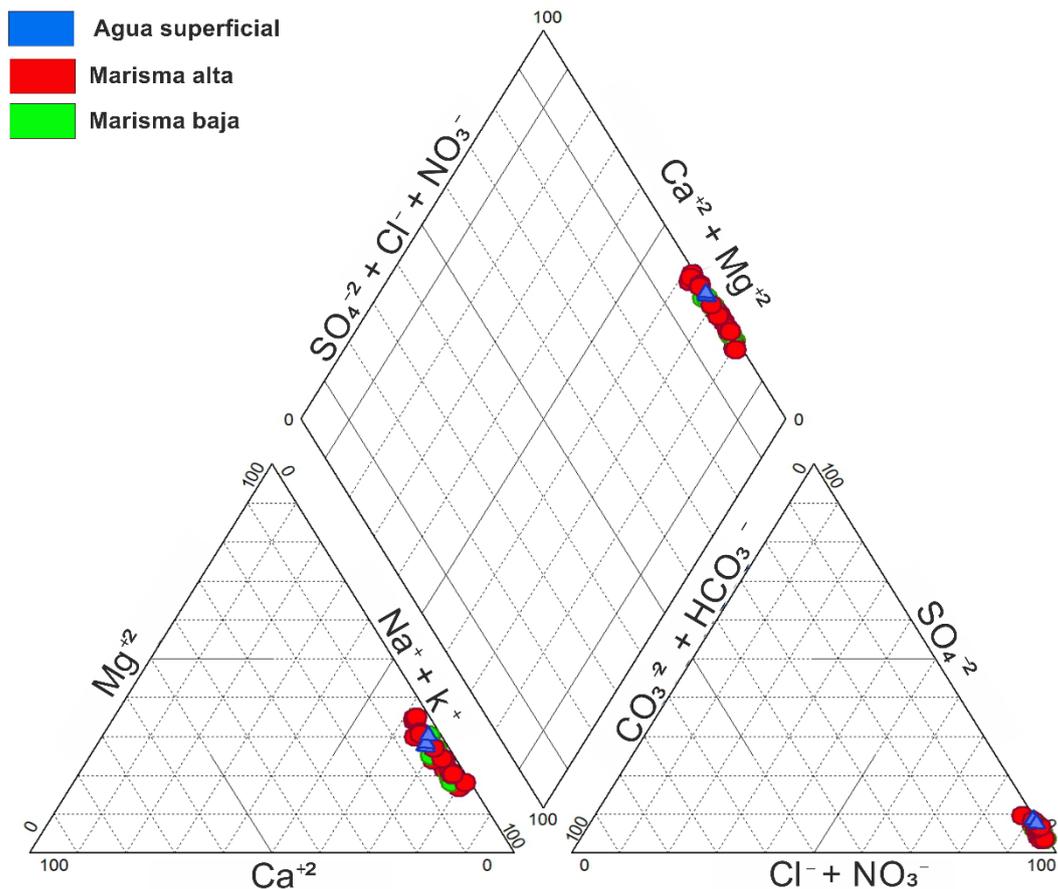


Figura 6.5. Diagrama Piper de las muestras subterráneas y superficiales del muestreo de mayo 2021.

Las variaciones espaciales en las facies químicas y contenidos iónicos se aprecian en los gráficos de Stiff. En el muestreo de 2018 el diseño de los gráficos Stiff evidencia la dominancia de facies Na-Cl en el humedal observándose una tendencia general al aumento en la concentración iónica hacia los sectores distales, tanto en el agua subterránea como en el agua superficial. Si se analiza cada transecta que atraviesa el canal Jabalí y las marismas relacionadas de manera individual, los mayores contenidos iónicos se encuentran en los ambientes de marisma alta, disminuyendo hacia la marisma baja y el agua superficial del canal (Figura 6.6).

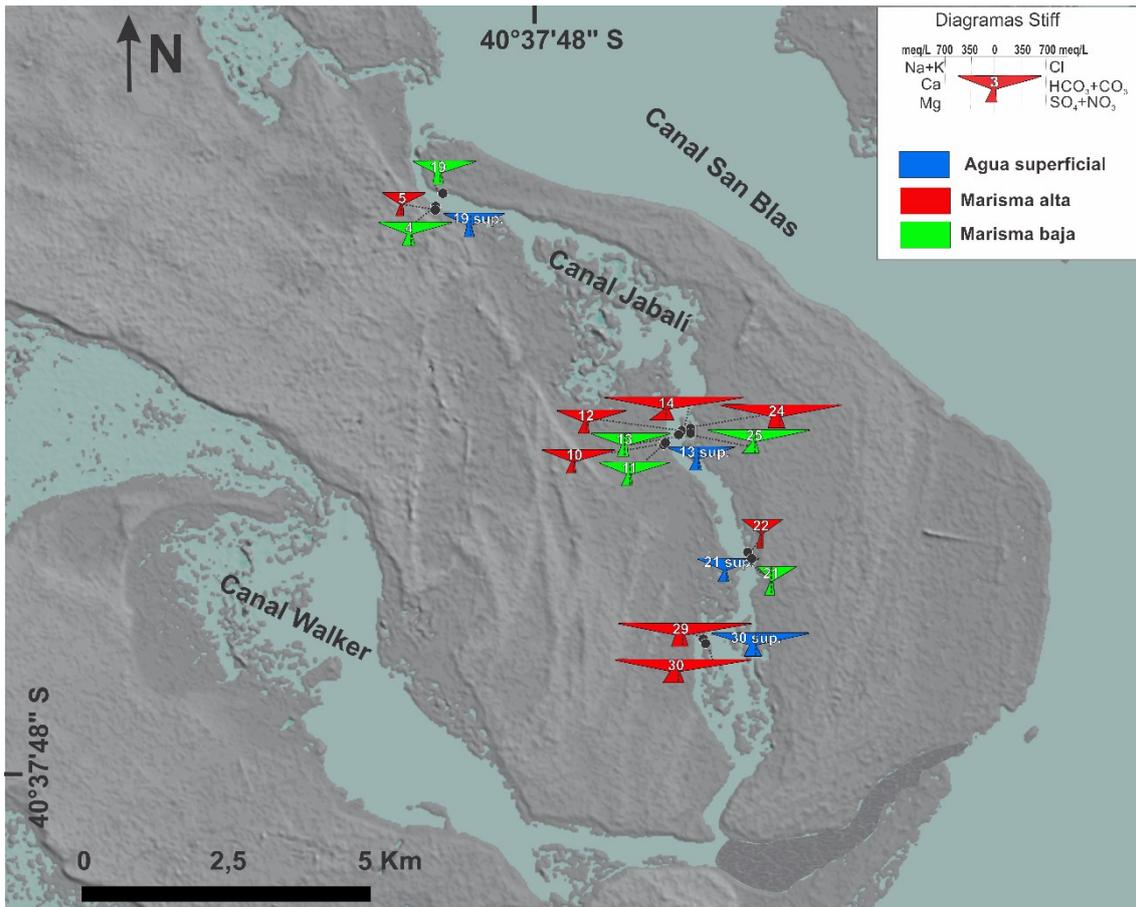


Figura 6.6. Diagramas Stiff del muestreo de diciembre 2018 en la marisma.

En referencia al muestreo de mayo 2021, a lo largo del canal Jabalí el contenido de iones mayoritarios es más variable en comparación con el muestreo anterior. En el agua superficial se observa una tendencia al aumento de las concentraciones desde la boca del canal Jabalí hacia Paso Seco. De este comportamiento se alejan las muestras en el sector central (MSB-13 y MSB-21). En cuanto al agua subterránea, se mantiene en el humedal la tendencia de la marisma alta a contener mayores concentraciones que la marisma baja, encontrándose las proporciones iónicas más altas en Paso Seco (Figura 6.7).

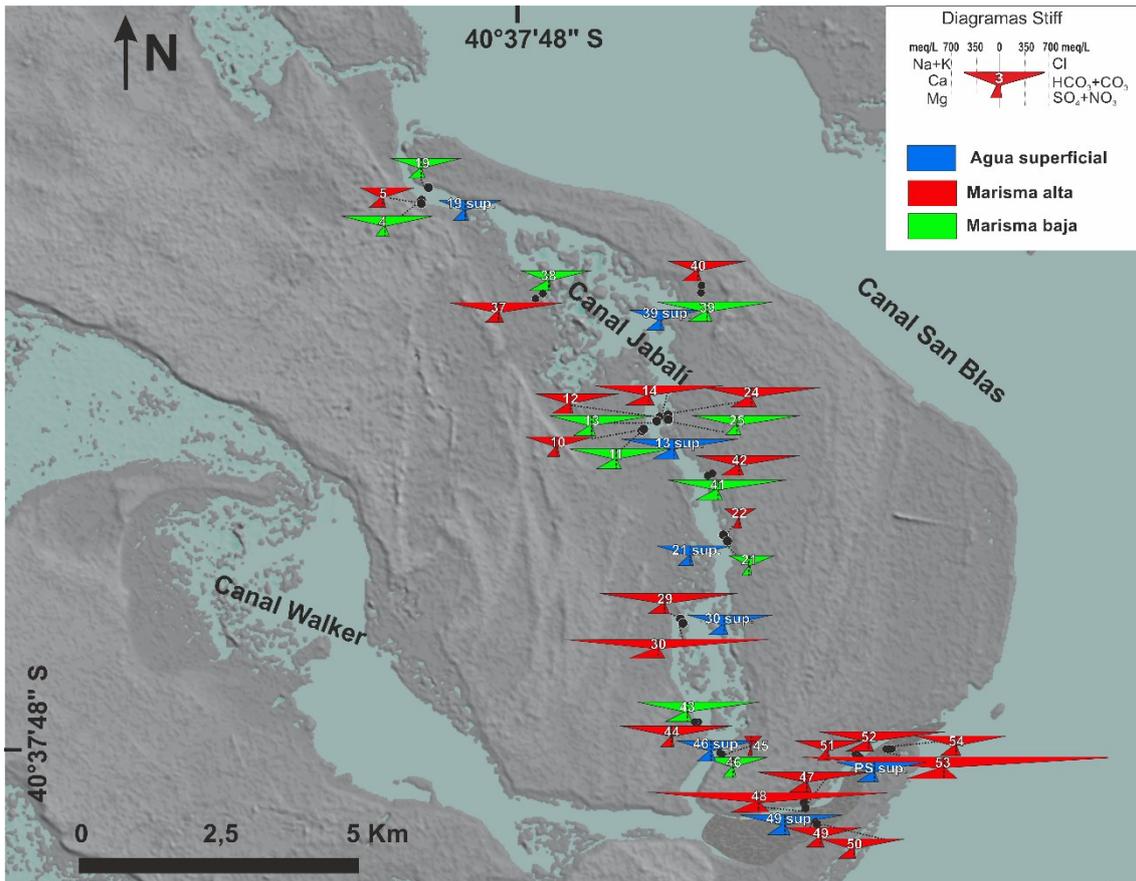


Figura 6.7. Diagramas Stiff del muestreo de mayo 2021 en la marisma abarcando Paso Seco.

Los ambientes de Cordones litorales asociados lateralmente a la marisma presentan menores contenidos iónicos, con diagramas de Stiff delgados, principalmente en los Cordones holocenos (Figura 6.8). Mayores contenidos iónicos se observan en la Planicie mareal antigua donde los diagramas son muy similares entre sí, a diferencia de la Planicie continental alta en la que se distingue una graduación de tamaños en los diagramas en aumento hacia el canal Walker.

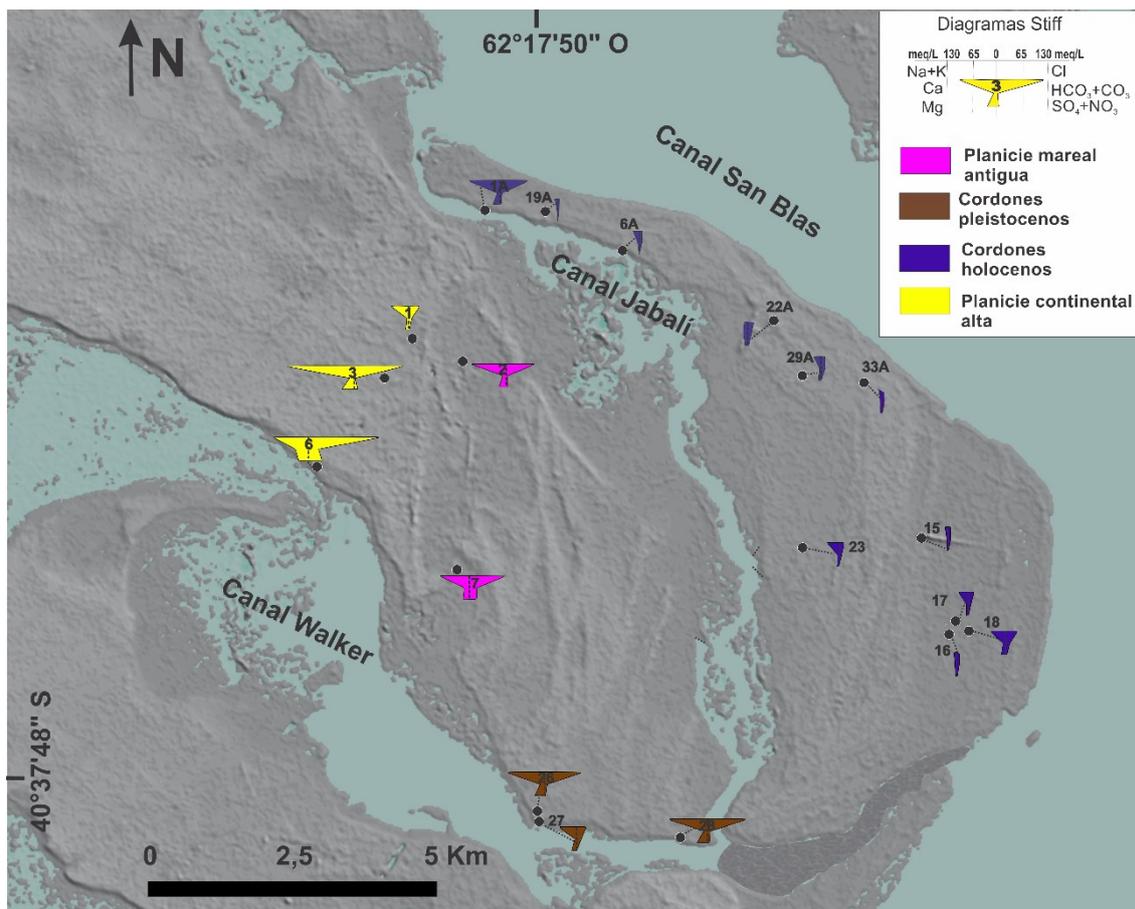


Figura 6.8. Diagramas Stiff del muestreo de diciembre 2018 en las geoformas adyacentes al humedal.

El análisis de relaciones iónicas permitió reconocer distintas tendencias hidroquímicas entre elementos para los ambientes identificados, tanto para el muestreo de mayo de 2018 como para diciembre de 2021.

En el monitoreo de 2018 en todos los ambientes muestreados los contenidos de Cl^- aumentan conforme aumentan los de Na^+ (Figura 6.9a). En el agua superficial de los canales de marea el aumento en Cl^- ocurre con una relación Na^+/Cl^- cercana a 0,8 (Figura 6.9b), característica del agua de mar. En el humedal las muestras de agua subterránea registran un aumento en Cl^- con relaciones Na^+/Cl^- cercanas a 1 en la marisma alta, mientras que en la marisma baja se ubican principalmente en torno a la recta de 0,8. En referencia al IS de halita, la marisma alta tiene mayores valores, aunque todas las muestras están subsaturadas (Figura 6.9c.). En la relación entre Ca^{+2} y $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{-2}$ no se observan tendencias claras (Figura 6.9d y e). La mayoría de las muestras en el ambiente de marisma presentan valores sobresaturados respecto de calcita, principalmente aquellas de la marisma alta (Figura 6.9f). La relación Mg^{+2} vs. $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{-2}$ es similar a la registrada entre estos aniones y el Ca^{+2} (Figura 6.9g), observándose que los valores de $\text{Mg}^{+2}/\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{-2}$ decrecen en la marisma proporcionalmente aumentan los de $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{-2}$ (Figura 6.9h). Según el IS de dolomita, las muestras superficiales y las de la marisma asociada se encuentran sobresaturadas (Figura 6.9i). En la relación Ca^{+2} vs. SO_4^{-2} en el agua subterránea de la marisma y en la del canal Jabalí se

observa un aumento en los contenidos de Ca^{2+} acompañado por un aumento en las concentraciones de SO_4^{-2} (Figura 6.9j). En estas muestras el aumento en SO_4^{-2} ocurre con una relación $\text{Ca}^{2+}/\text{SO}_4^{-2}$ entre 0,42 y 1,74 (Figuras 6.9k). Las muestras se encuentran mayormente subsaturadas en yeso, registrándose sobresaturación en los tramos distales del canal (Figura 6.9l).

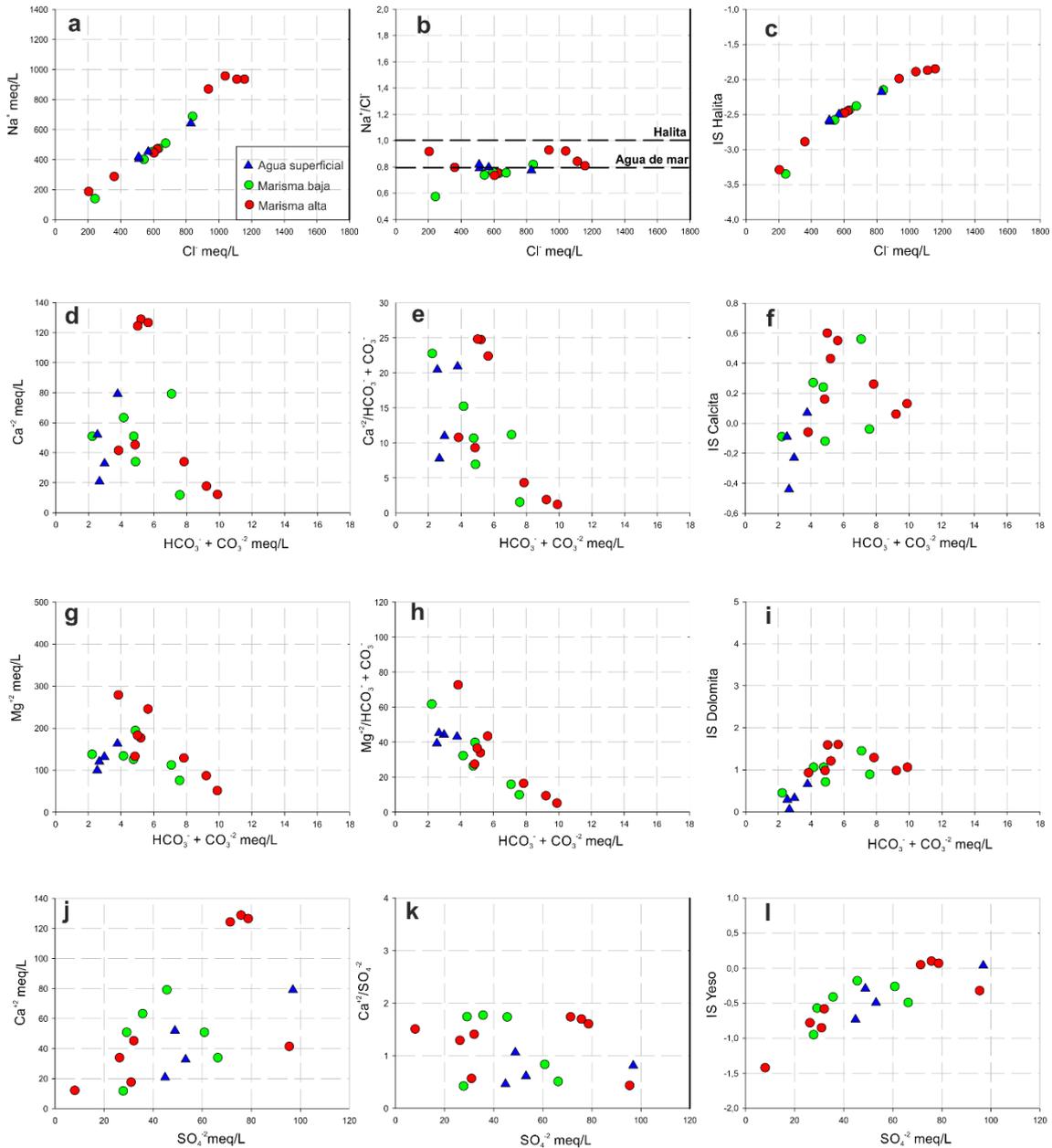


Figura 6.9. Relaciones iónicas e índices de saturación de las muestras de agua superficial y subterránea del monitoreo de 2018 en la marisma asociada al canal Jabalí.

Para el monitoreo efectuado en 2021 se respetan mayormente las tendencias observadas previamente en las relaciones iónicas, como la proporcionalidad entre Na^+ y Cl^- (Figura 6.10a). En el gráfico de Na^+/Cl^- las muestras del canal Jabalí y de las marismas se agrupan en torno al valor de la relación 0,8 (agua de mar) (Figura 6.10b), presentando en todos los casos valores de IS de halita subsaturados (Figura 6.10c). Tanto en el gráfico

Ca^{+2} vs. $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{-2}$ como en el de $\text{Ca}^{+2}/\text{CO}_3^{-2} + \text{HCO}_3^-$ vs. $\text{CO}_3^{-2} + \text{HCO}_3^-$ (Figuras 6.10d y 6.10e), si bien no hay tendencias definidas, se aprecia que en las muestras de la marisma ocurre un aumento en estos aniones sin variaciones importante en los contenidos de Ca^{+2} . Respecto al índice de saturación en calcita, el agua mareal está subsaturada, mientras que en la marisma algunas muestras de agua subterránea están sobresaturadas (Figura 6.10f). En cuanto a las relaciones iónicas asociadas al Mg^{+2} , se observan características muy similares a las del Ca^{+2} (Figuras 6.10g y 6.10h). El índice de saturación en dolomita (Figura 6.10i) demuestra que casi todas las muestras se encuentran sobresaturadas. En la relación Ca^{+2} vs. SO_4^{-2} en el agua subterránea de la marisma y en la del canal Jabalí se observa un aumento en los contenidos de Ca^{+2} acompañado por un aumento en las concentraciones de SO_4^{-2} , el cual ocurre con una relación $\text{Ca}^{+2}/\text{SO}_4^{-2}$ entre 0,5 y 1 (Figuras 6.10j y 6.10k), registrándose en todos los casos valores de IS de yeso subsaturados (Figura 6.10l).

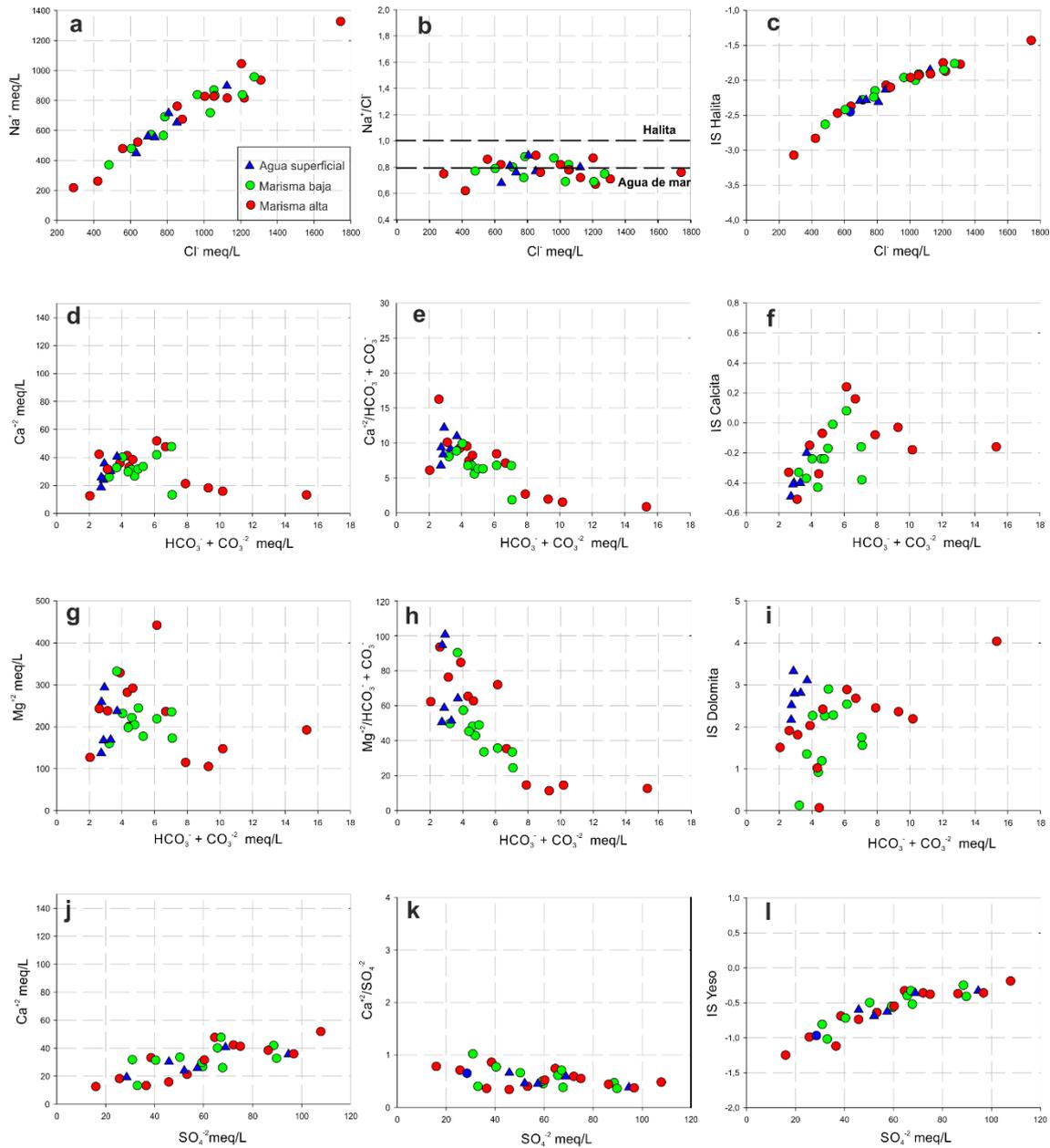


Figura 6.10. Relaciones iónicas e índices de saturación de las muestras de agua superficial y subterránea para el monitoreo de 2021 en la marisma asociada al canal Jabalí.

En referencia al humedal en el área de Paso Seco, en líneas generales las concentraciones iónicas son mayores que en el humedal del canal Jabalí, observándose comportamientos similares en las relaciones iónicas. Se aprecia el aumento proporcional entre Na⁺ y Cl⁻ (Figura 6.11a). La mayor parte de las muestras poseen relación Na⁺/Cl⁻ similar al agua de mar (Figura 6.11b) y sólo algunas tienen valores menores, pero todas muestran subsaturación en halita (Figura 6.11c). Respecto de las relaciones que involucran Ca²⁺, Mg²⁺ y CO₃²⁻ + HCO₃⁻ son similares a los observados en el canal Jabalí con IS en calcita subsaturado en el agua superficial y levemente saturada en el agua subterránea y con IS en dolomita saturado en todas las muestras (Figuras 6.11d, 6.11e, 6.11f, 6.11g, 6.11h y 6.11i). En la relación Ca²⁺ vs. SO₄²⁻ en el agua se observa un

aumento en los contenidos de Ca^{2+} acompañado por un aumento en las concentraciones de SO_4^{2-} , el cual ocurre con una relación $\text{Ca}^{2+}/\text{SO}_4^{2-}$ cercana a 0,6 (Figuras 6.11j y 6.11k), registrándose en todos los casos valores de IS en yeso subsaturados, con 2 muestras de la marisma alta muy próximas a la saturación (Figura 6.11l).

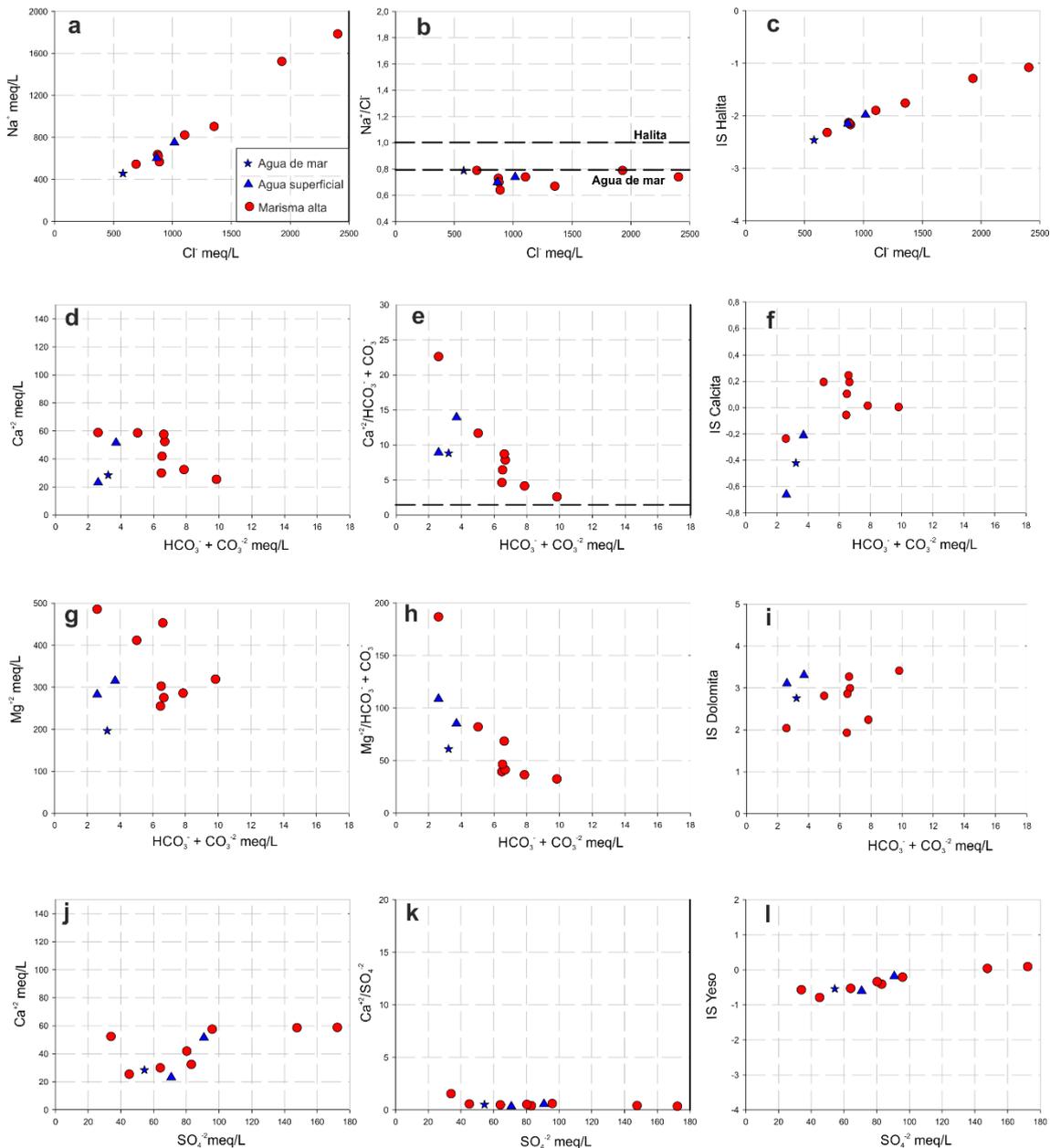


Figura 6.11. Relaciones iónicas e índices de saturación del agua superficial y subterránea para el monitoreo de 2021 en el sector de Paso Seco.

Por su parte, en los ambientes adyacentes al humedal también se da una tendencia a aumentar la concentración de Cl^- conforme lo hace el Na^+ (Figura 6.12a). A su vez, los

menores contenidos en Cl^- se asocian a valores variables en la relación Na^+/Cl^- (entre 0,57 y 1,82), siendo los Cordones holocenos las geoformas de mayor variabilidad (Figura 6.12b). Respecto al IS de halita, los valores son menores que en la marisma, estando todas las muestras subsaturadas (Figura 6.12c). En la relación entre Ca^{+2} y $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{-2}$ se visualiza cierta tendencia a una posición cercana al 0 (Figura 6.12e). Valores sobresaturados también dominan en el agua subterránea de estas unidades adyacentes a la marisma (Figura 6.12f). La relación Mg^{+2} vs. $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{-2}$ muestra que en estos ambientes los valores disminuyen un orden de magnitud. La Planicie continental alta y los Cordones pleistocenos describen un aumento de Mg^{+2} con la distancia al canal Walker (Figura 6.12g), además de la relación inversamente proporcional entre este catión y la suma $\text{CO}_3^{-2} + \text{HCO}_3^-$ (Figura 6.12h). Según el IS de dolomita las muestras se encuentran sobresaturadas en gran parte de las unidades (Figura 6.12i). Particularmente en los Cordones holocenos las bajas concentraciones de SO_4^{-2} respecto de Ca^{+2} hacen que dicha relación sea mayor (Figura 6.12j y 6.12k). El conjunto de unidades se encuentra mayormente subsaturado en yeso (Figura 6.12l).

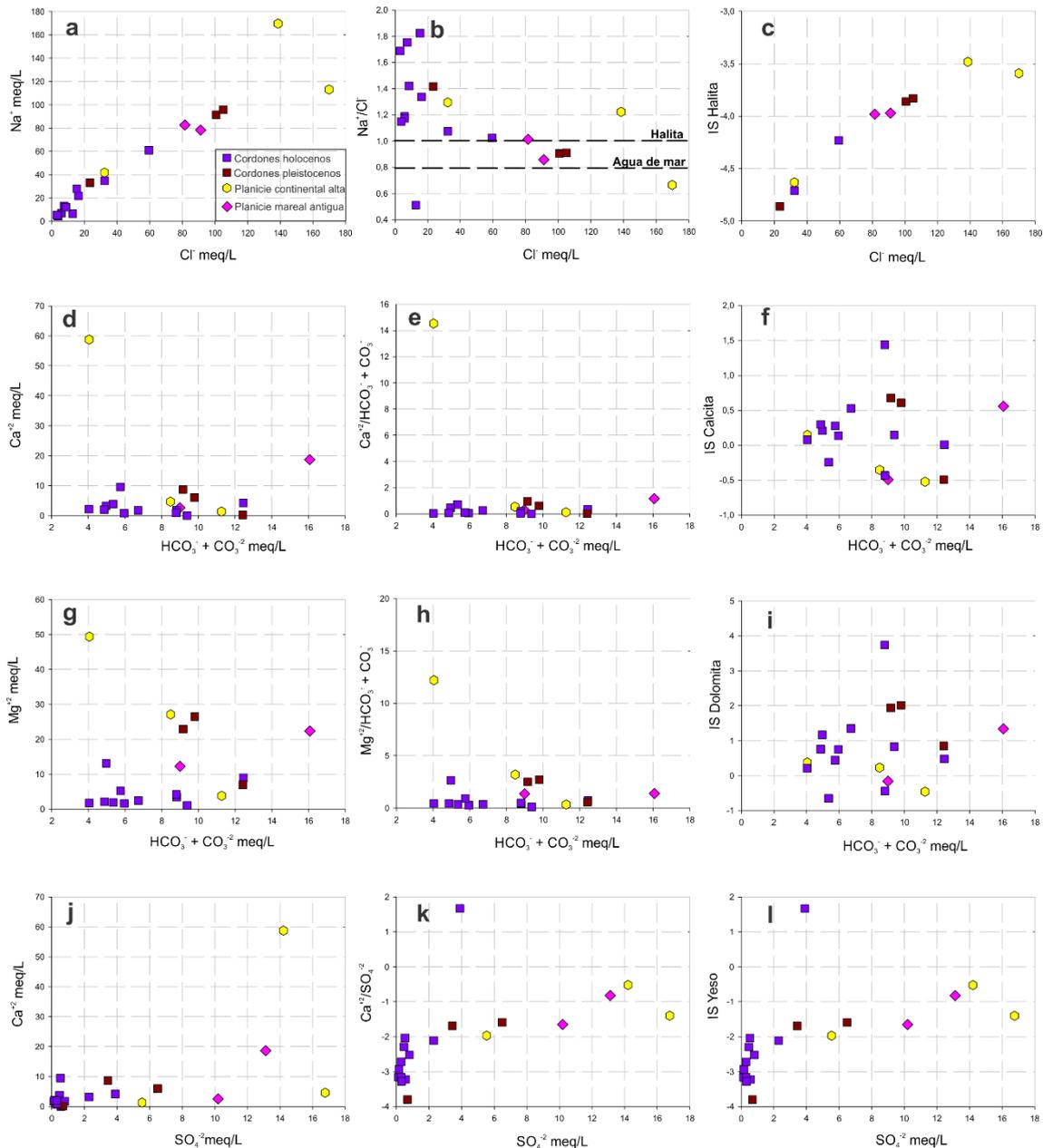


Figura 6.12. Relaciones iónicas e índices de saturación para el monitoreo de 2018 en las geoformas adyacentes al humedal.

En el gráfico de relaciones molares propuestas por Gaillardet *et al.*, (1999) se observa que las muestras de la marisma se agrupan principalmente dentro del campo indicativo de procesos de disolución de evaporitas, mientras que las otras unidades, principalmente los Cordones holocenos, lo hacen en torno a la alteración de silicatos. Asimismo, tanto el agua superficial como la subterránea de la marisma poseen mayor dispersión en diciembre 2018 en comparación con mayo 2021 cuando su agrupación es muy marcada en torno a la disolución de evaporitas (Figura 6.13a y 6.13b respectivamente). Las muestras de la región de Paso Seco exhiben una distribución muy similar a la correspondiente al canal Jabalí en 2021 (Figura 6.13c).

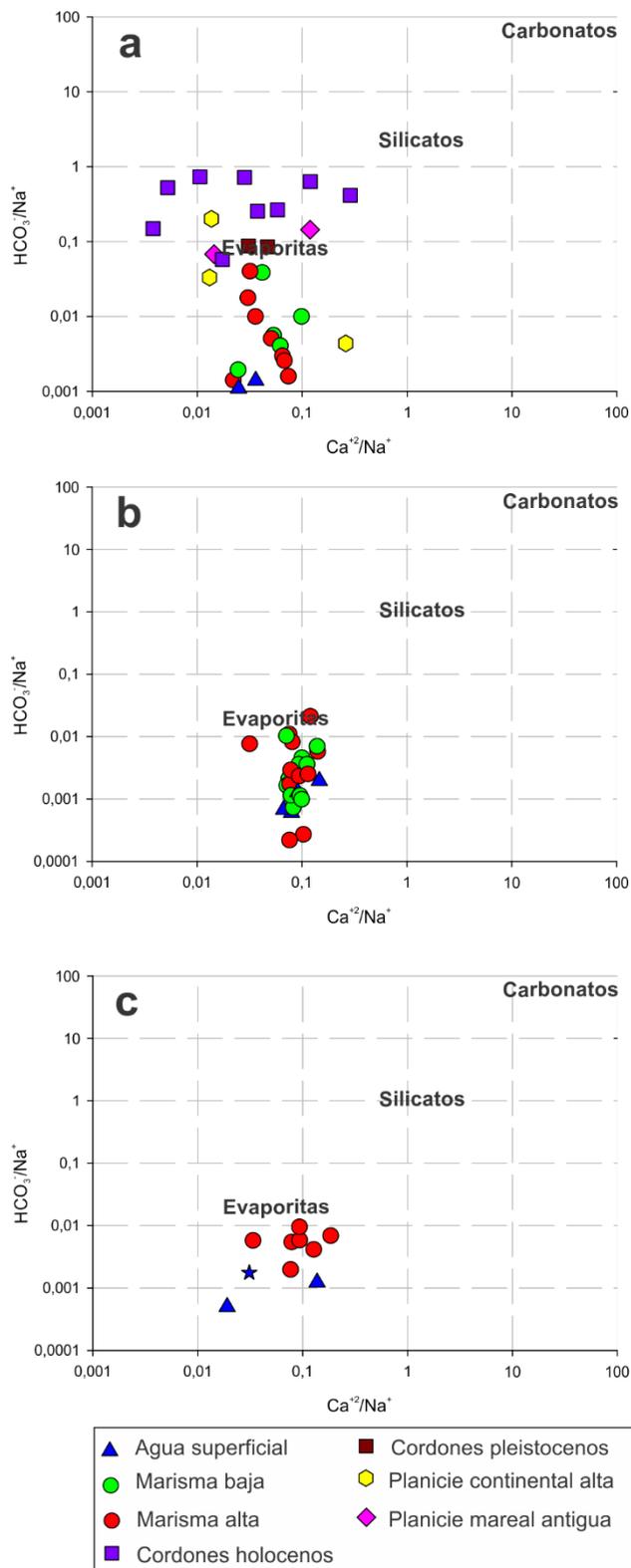


Figura 6.13. Relaciones molares $\text{HCO}_3^-/\text{Na}^+$ vs. $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ (modificado de Gaillardet *et al.*, 1999) corregidas según el aporte atmosférico, considerando registros hidroquímicos de precipitaciones indicados por Martínez *et al.*, 2011. a. Muestreo de diciembre 2018 en marisma del canal Jabalí y en los ambientes adyacente. b. Muestreo de mayo 2021 en marisma del canal Jabalí. c. Muestreo de mayo 2021 en Paso Seco.

Los análisis isotópicos se efectuaron en un grupo de muestras correspondientes al primer muestreo (2018). En el gráfico de $\delta^2\text{H}$ vs $\delta^{18}\text{O}$ (Figura 6.14) se observa que las muestras de la marisma se agrupan en torno a una recta de mezcla ($\delta^2\text{H} = 6,2$ y $\delta^{18}\text{O} = -2,67$) en donde los miembros extremos corresponden a la composición media del agua mareal y la composición media de los Cordones litorales adyacente al humedal, los cuales se ubican en torno a las rectas meteóricas locales de Playa Fracasso en Península Valdés (Alvarez *et al.*, 2015a) y Lobería (Martínez *et al.*, 2011).

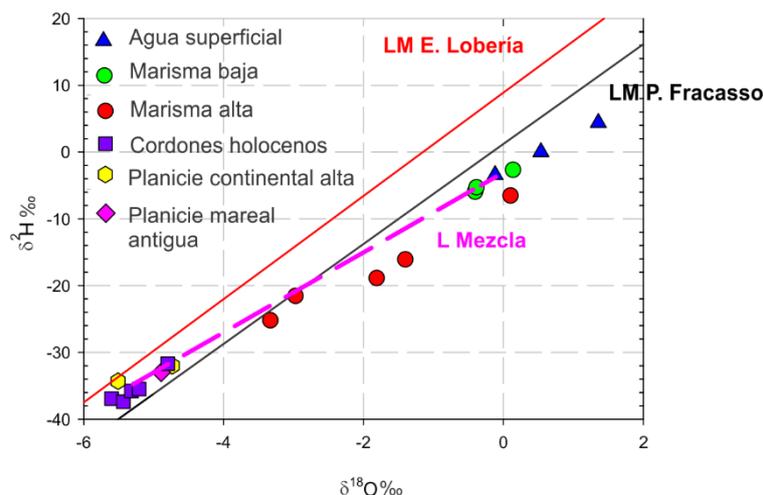


Figura 6.14. Composición isotópica de los distintos ambientes con las líneas meteóricas (LM) de la Estación Lobería (roja) y Playa Fracasso (negra). Línea de mezcla definida por valores medios de Cordones holocenos y por muestra superficial más cercana a la boca del canal (MSB-19 sup.).

Dentro del humedal, se reconocen procesos de mezcla de aguas en los que intervienen los Cordones gravosos con aportes de agua de baja salinidad y el agua mareal con altas salinidades. De esta manera, la marisma baja presenta valores isotópicos poco variables asociados a una mezcla con muy altos porcentajes de agua mareal (97 a 100%), mientras que en la marisma alta los valores isotópicos son más variables correspondiendo a porcentajes de mezcla donde el aporte de agua de mar varía entre 35 y 100%.

Los excesos de deuterio (Figura 6.15a) muestran un comportamiento similar, con valores próximos a los de la lluvia local en las muestras de los Cordones litorales y Planicie continental alta y tendencias de mezcla con agua de mar en el ambiente de marisma. En el gráfico de $\delta^{18}\text{O}$ en función de la CE (Figura 6.15b) si se traza una recta de mezcla considerando los mismos miembros extremos anteriormente explicados se observa que las muestras de la marisma baja presentan CE y valores isotópicos asociados a porcentajes de mezclas similares a los descritos previamente. En cambio, en la marisma alta una muestra se ubica en torno a la recta de mezcla, mientras que las

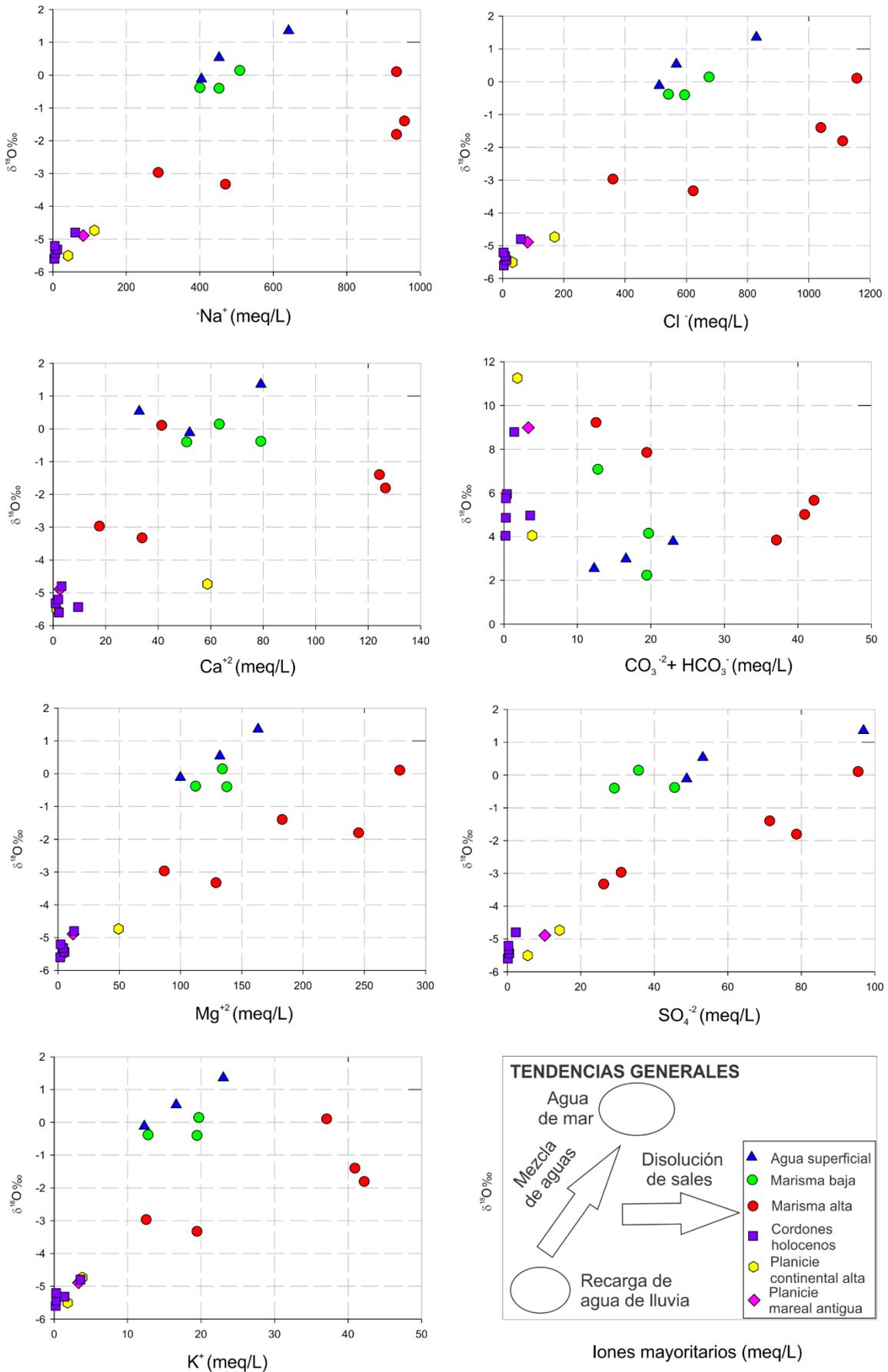


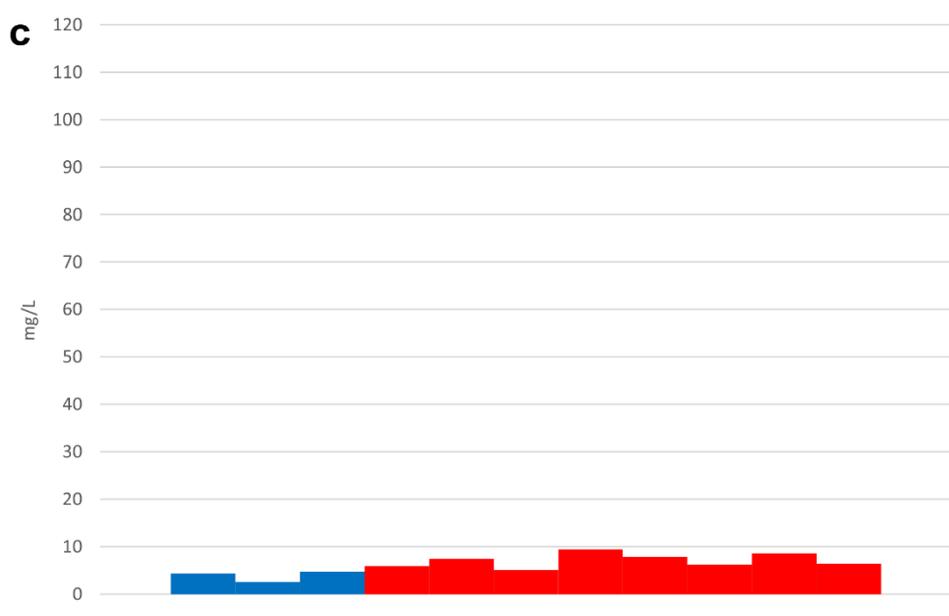
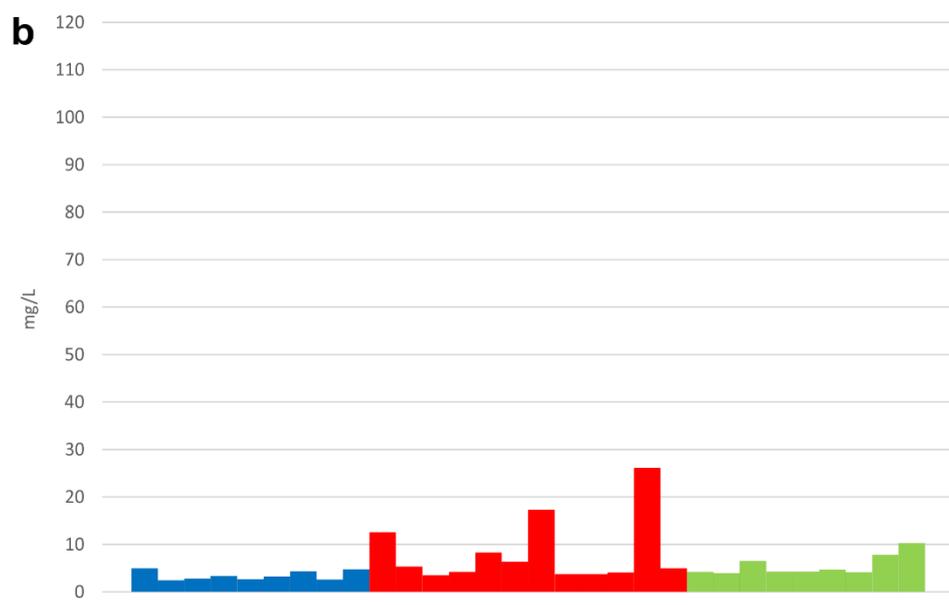
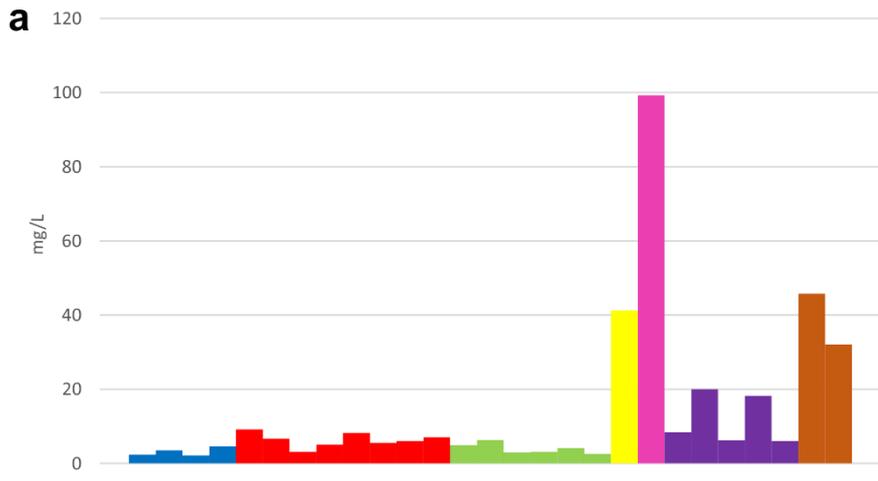
Figura 6.16. Relación de ¹⁸O en función del contenido de diversos iones mayoritarios.

6.3.3 Nutrientes

Los nutrientes analizados incluyen especies que se encuentran en solución como nitrato, ortofosfato y sílice reactiva soluble. Se analizaron datos de las dos campañas para el nitrato, mientras que los datos de ortofosfato y sílice reactiva soluble pertenecen a la campaña de diciembre 2018 (ver Anexo II).

Los resultados obtenidos muestran que dentro del humedal el agua subterránea en la marisma alta registra mayores concentraciones de nutrientes que la marisma baja. En el agua superficial los contenidos de nutrientes tienden a incrementarse desde la boca del canal Jabalí hacia los tramos más distanciados de ésta. Por su parte, en las unidades geomorfológicas adyacentes al humedal (Cordones pleistocenos y holocenos, Planicie mareal antigua y Planicie continental alta) los contenidos de nutrientes tienden a registrar los valores más elevados.

Particularmente, en el muestreo de 2018 el NO_3^- de la marisma alta es más elevado que en la marisma baja con promedios de 6,35 y 4,01 mg/L, respectivamente (Figura 6.17a). Estos valores superan a los del curso del canal Jabalí que posee una media de 3,17 mg/L. Las unidades restantes muestran proporciones que superan ampliamente a las anteriores (valores entre 6,02 y 99,25 mg/L) (Figura 6.17b). Para la segunda campaña, el contenido de NO_3^- muestra pequeños aumentos en la zona intermareal. Se mantienen los mayores registros en la marisma alta siendo la media 8,32 mg/L, y 5,32 mg/L en la marisma baja. Por su parte, el agua superficial muestra valores similares con una media de 3,21 mg/L. En Paso Seco la planicie mareal exhibe un contenido de nitrato de 7,12 mg/L, mientras que la media en los cuerpos de agua superficiales es de 4,55 mg/L (Figura 6.17c).



■ Agua superficial
 ■ Marisma alta
 ■ Marisma baja
 ■ Planicie continental alta
■ Planicie mareal antigua
 ■ Cordones holocenos
 ■ Cordones pleistocenos

Figura 6.17. Concentraciones de nitrato. a. Muestreo de diciembre 2018 en marisma y geomorfología adyacente. b. Muestreo de mayo 2021 en marisma del canal Jabalí. c. Muestreo de mayo 2021 en Paso Seco.

La distribución de ortofosfato muestra bajas concentraciones en la marisma, variando desde 0,03 a 0,99 mg/L. El promedio de ortofosfato de la marisma alta supera al de la marisma baja, siendo 0,33 y 0,16 mg/L, respectivamente. En el agua superficial, el PO_4^{-3} se mantiene poco variable (0,06 mg/L) en los primeros tramos del canal y hacia los tramos más distales aumenta hasta 0,16 mg/L. En los ambientes adyacentes al humedal las concentraciones tienden a ser mayores con valores entre 0,21 y 2,24 mg/L (Figura 6.18).

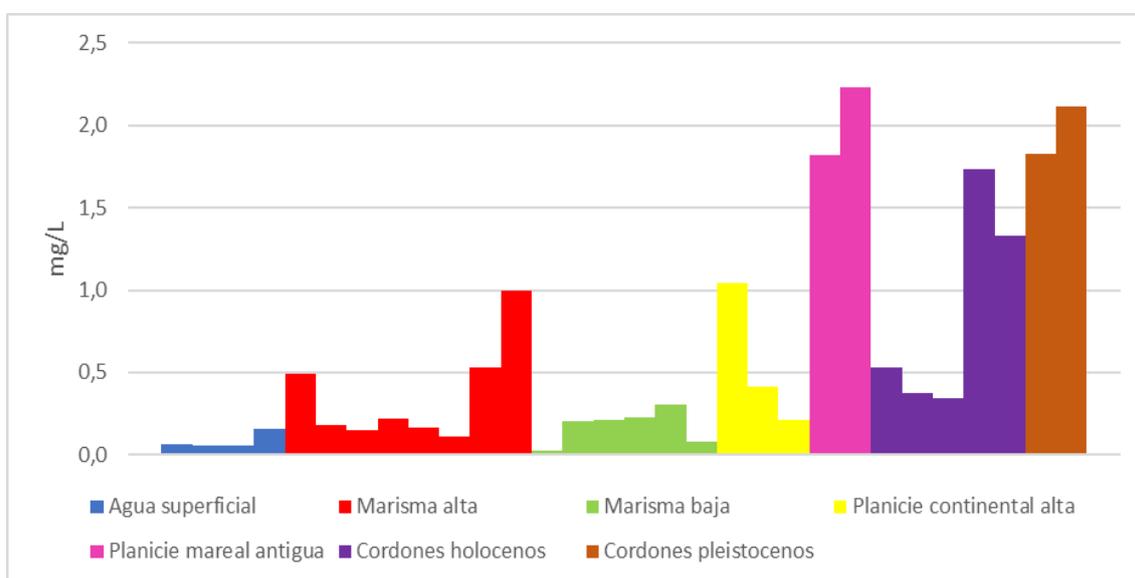


Figura 6.18. Concentraciones de ortofosfato para el muestreo de diciembre 2018 en marisma y geomorfología adyacente.

La sílice reactiva soluble en la marisma alta presenta mayores concentraciones respecto de la marisma baja, con una media de 15 mg/L para la primera y de 13,45 mg/L para la segunda. Estas concentraciones son marcadamente superiores a las encontradas en el agua mareal la cual tiene valores medios de 0,85 mg/L (Figura 6.19). En los ambientes próximos al humedal, se observan proporciones más altas en general y particularmente en los Cordones pleistocenos y holocenos con medias cercanas a los 25 mg/L.

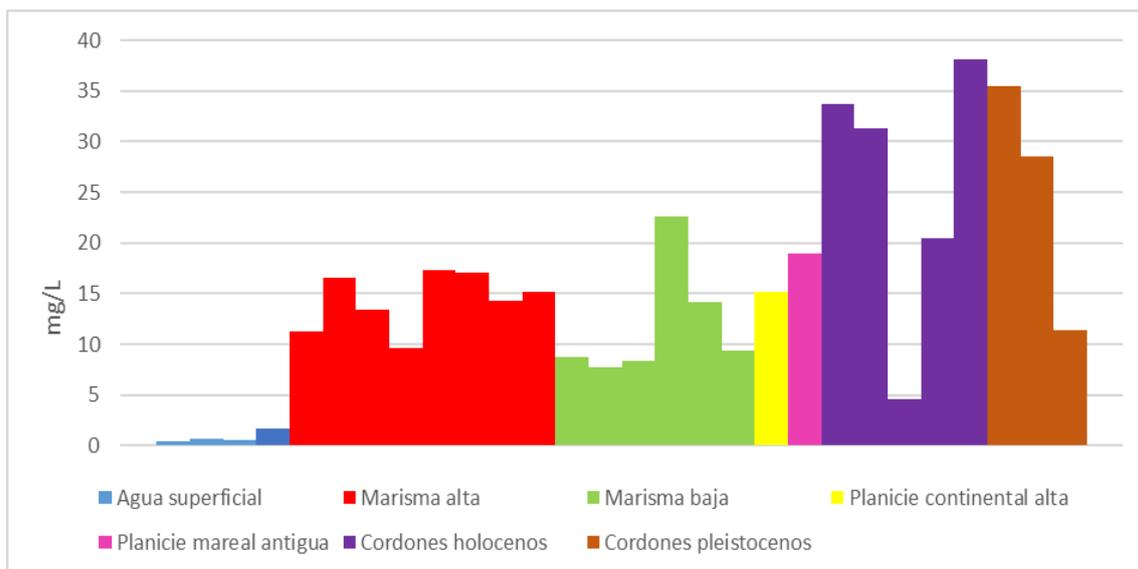


Figura 6.19. Concentraciones de sílice reactiva soluble para el muestreo de diciembre 2018 en marisma y geomorfología adyacente.

6.3.4. Elementos trazas

Los valores promedio, máximos y mínimos en los contenidos de elementos traza se muestran en la tabla 6.2. Con el fin de evaluar cambios hidroquímicos asociados a las concentraciones de los distintos elementos traza en el agua del humedal, se realizó la normalización de los datos. Para ello, se eligió la muestra MSB-19 sup. (agua mareal) como patrón por ser la más cercana a la boca del canal Jabalí, constituyendo este canal de marea el principal aporte de agua al humedal. En el gráfico multielemental de concentraciones normalizadas, se observa que dentro del ambiente de marisma existe un enriquecimiento respecto al agua mareal en Li, Ga, Se, Rb, Ba y U, mientras que el Mn, Co y Ni presentan valores normalizados inferiores a 1 (Figura 6.20). Se registran también enriquecimientos en Fe, Cu, As y Sr, pero sólo en la marisma alta. En general, esta última unidad presenta mayores concentraciones de elementos trazas que la marisma baja. Y los menores valores se ubican en las muestras de las unidades periféricas al humedal como la Planicie continental alta y los Cordones holocenos.

Tabla 6.2. Mínimo, máximo y promedio de concentraciones (ppb) de elementos traza para el humedal y geoformas adyacentes. Nótese que el contenido de Ni en algunas muestras se encontró bajo el límite de detección (<LD).

		As	Ba	Co	Cu	Fe	Ga	Li	Mn	Ni	Rb	Se	Sr	U
Geoformas adyacentes	Mínimo	32,0	85,9	1,3	78,7	548,2	3,7	39,0	77,8	<LD	11,1	26,4	321,8	6,0
	Máximo	269,7	110,5	1,6	112,7	1021,9	5,6	52,0	1445,7	7,3	21,5	26,7	643,1	12,8
	Promedio	150,8	98,2	1,4	95,7	785,0	4,6	45,5	761,8	3,7	16,3	26,5	482,5	9,4
Marisma alta	Mínimo	71,0	160,8	3,5	391,9	3330,0	7,3	112,4	116,7	<LD	61,0	154,2	3103,5	5,9
	Máximo	549,1	6822,5	45,7	3724,0	39135,0	320,2	1196,5	4563,7	670,4	597,2	1897,8	40675,4	33,8
	Promedio	219,8	2086,3	25,7	1820,4	18310,4	98,8	510,5	1786,8	242,2	267,8	819,2	17322,0	21,0
Marisma baja	Mínimo	65,8	116,1	5,3	476,2	3802,0	5,0	145,5	104,6	<LD	73,0	200,8	3154,7	4,5
	Máximo	180,5	326,4	22,8	2085,3	19238,9	15,7	570,5	1609,8	345,3	322,0	1025,1	20383,1	58,1
	Promedio	126,7	203,1	13,2	1032,5	9114,6	10,3	308,1	894,7	156,6	161,4	492,6	11117,4	22,8
Agua superficial	Mínimo	49,4	60,4	1,7	452,4	3569,5	1,4	140,2	43,2	<LD	70,7	214,5	4899,3	2,1
	Máximo	283,8	677,9	36,3	1245,6	12798,1	25,8	454,4	2095,0	1171,3	226,1	726,5	18843,1	37,1
	Promedio	155,9	295,4	16,2	883,7	8684,8	11,1	290,4	830,4	424,1	143,9	450,4	11722,1	15,6

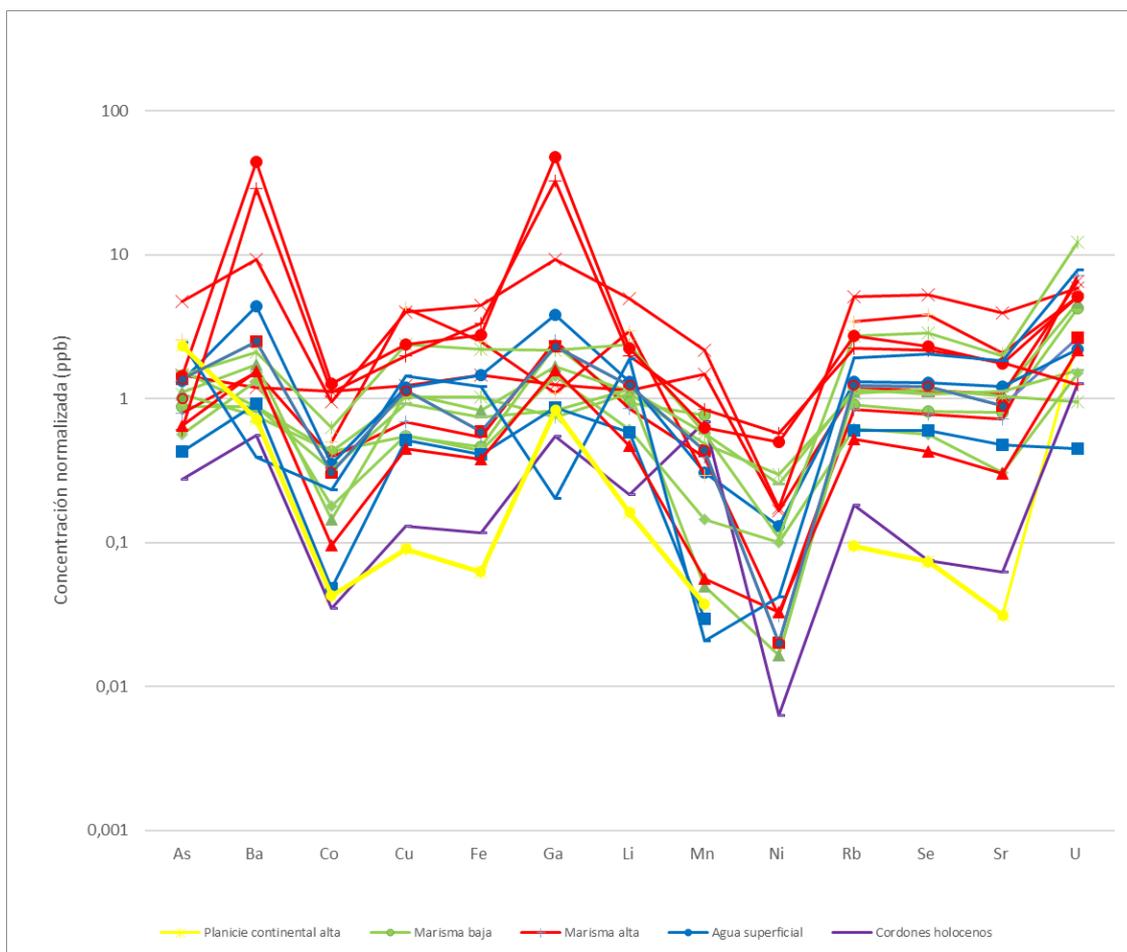


Figura 6.20. Normalización de elementos traza respecto al agua del canal Jabalí (muestra MSB-19 sup.).

Por otro lado, en base a los datos de las muestras de agua subterránea del área de marisma, se calculó el coeficiente de correlación entre el SO_4^{-2} y elementos traza vinculados a la formación de pirita como Cu, Co, Fe, Mn, Ni y Se (Tabla 3). Cabe destacar que, si bien la cristalización de pirita ocurre en los sedimentos, es fundamental el intercambio entre las especies en solución en el agua subterránea y la fase sólida del suelo. Los cálculos demuestran que las mayores correlaciones pertenecen a los pares Fe-Cu, Se-Cu, Se-Fe y Cu- SO_4^{-2} (coeficiente mayor a 80). También son altas las correlaciones entre Fe-Co, Mn-Co, Mn-Fe, Ni-Co, Fe- SO_4^{-2} y Se- SO_4^{-2} (coeficiente = 0,6 - 0,8).

Tabla 6.3. Coeficientes de correlación en agua subterránea entre SO_4^{-2} y posibles componentes trazas de piritita. En colores se muestra el grado de correlación: alto (verde), medio (amarillo) y bajo (rojo).

	Co 59 (ppb)	Cu 63 (ppb)	Fe 57 (ppb)	Mn 55 (ppb)	Ni 60 (ppb)	Se 82 (ppb)	SO_4^{-2} (mg/L)
Co 59 (ppb)	1						
Cu 63 (ppb)	0,50	1					
Fe 57 (ppb)	0,76	0,86	1				
Mn 55 (ppb)	0,69	0,46	0,67	1			
Ni 60 (ppb)	0,70	0,16	0,52	0,26	1		
Se 82 (ppb)	0,51	0,96	0,90	0,60	0,16	1	
SO_4^{-2} (mg/L)	0,59	0,82	0,79	0,39	0,37	0,79	1

7. DISCUSIÓN Y MODELO CONCEPTUAL

7.1 Geohidrología del humedal asociado al canal Jabalí

La Isla Jabalí limita en su sector Oeste con un gran canal de mareas denominado canal Jabalí, al cual se asocian humedales dominados por ambientes de marismas salinas. Estos ambientes se encuentran circundados por diversas geoformas entre las que destacan Cordones litorales y Planicies continentales (Figura 3.7). Entre los primeros, resaltan los Cordones gravosos que limitan casi la totalidad de la planicie mareal del canal Jabalí, ubicándose los de edad pleistocena al Oeste del mismo y los de edad holocena hacia el Este. También se reconocen Cordones arenosos que impiden el acceso del mar en el Sudeste de la zona de estudio, condicionando las características de la región de Paso Seco.

Los valores de CE y la clasificación iónica permiten diferenciar un sector más salino con agua clorurada sódica correspondiente a los Cordones pleistocenos y la Planicie continental alta, y uno de agua dulce a levemente salino con agua bicarbonatada sódica representado por los Cordones holocenos (Tabla 6.1).

La marisma vinculada al canal Jabalí se superpone a geoformas tales como las Planicies Fangosas, las Barras arenosas, los Cordones gravosos y, en la región de Paso Seco, la Planicie Arenosa. De las anteriores, la Planicie Fangosa resulta la que ocupa mayor extensión, conteniendo también la mayor proporción de marisma, siendo intermedia en las Barras arenosas y menor en los Cordones gravosos. El hecho de que predomine la Planicie Fangosa responde a la formación de una espiga de barrera holocena en la boca del canal Jabalí que limita la acción del oleaje, por lo que esta marisma puede ser clasificada como una marisma de bahía con entrada restringida, según la clasificación adaptada de Pye y French (1993, citado en Allen 2000). A su vez, el sustrato fangoso presenta el mejor desarrollo de marisma. En contraposición, el sustrato arenoso en Paso Seco (Planicie arenosa) posee bajo grado de formación de marisma, ya que su inundación es eventual por la combinación de factores como su lejanía de la boca del canal Jabalí, su posición topográfica más elevada y la existencia de una barrera medianosa superpuesta a una espiga arenosa obstruyendo el ingreso del mar desde el Noreste.

El humedal es inundado periódicamente por la marea, cuyo rango se ubica en el límite micromareal-mesomareal, discriminándose una zona de marisma baja inundada a diario por las pleamares de cuadratura y otra de marisma alta alcanzada sólo por las pleamares de sicigia y las extraordinarias. En función de lo anterior, se define el hidroperíodo (dado por la duración y frecuencia de inundación) de cada zona, condicionando la distribución de las comunidades vegetales (Figura 3.18). Esta dinámica mareal explica el poco desarrollo que presentan los suelos que fueron clasificados como Entisoles expuestos a sucesivos pulsos de depositación. Además, la frecuente inundación imprimió en los perfiles características hidromórficas como moteados y

colores gley producto de reacciones de óxido-reducción (Figura 4.36). La abundancia de moteados rojizos en la marisma alta alrededor de macroporos asociados a raíces, indica concentración redox por rápida oxidación de Fe^{+2} en presencia de materia orgánica (Fitzpatrick y Shand, 2008) y por la liberación de oxígeno por parte de las raíces (Imbellone, 2018). Asimismo, la preponderancia de gleización en la marisma baja refleja zonas de empobrecimiento redox, donde prevalecen condiciones reductoras por la saturación prolongada del suelo.

Los análisis granulométricos de los perfiles pedo-sedimentarios muestran en general una distribución heterogénea con más de una moda (Tabla 4.3), lo que se condice con las discontinuidades litológicas que regularmente se describieron en campo representadas por alternancia de horizontes C. Como excepción, aquellos ubicados en la marisma impuesta a Cordones gravosos, son los más homogéneos con una distribución unimodal. De acuerdo a la clasificación textural, se verifica la influencia de las unidades geomorfológicas que actúan como sustrato de la marisma aportando el material parental de los suelos. Así, la secuencia pedo-sedimentaria de la marisma en Planicie fangosa presenta predominantemente texturas finas como arenas fangosas e incluso fango arenosas. Esto puede deberse a la baja energía de los canales que se va disipando producto de la baja pendiente de las márgenes y el rozamiento con la vegetación, dando lugar a la decantación de los tamaños más finos y su entrapamiento por las plantas halófitas. Las texturas de arenas fangosas y arenas dominan en los horizontes de la marisma relacionada a Barras arenosas, cuya formación es propia de la dinámica del canal de mareas con flujo bidireccional (flujo y refluo). En los perfiles de marisma sobre Cordones gravosos se dan los grupos texturales más gruesos como rasgos relictos de su formación por fenómenos de alta energía durante eventos de intrusiones marinas. Por su parte, las secuencias pedo-sedimentarias de la marisma baja en Planicie arenosa están compuestas mayormente por arena fangosa y en la marisma alta por arena, de manera tal que esta diferencia puede deberse a la acumulación de material fino durante la inundación en la primera y al aporte de los médanos cercanos en la segunda (Figura 3.16).

Por otro lado, la concentración de sedimentos de menor granulometría promedio en la marisma baja se explica por la mayor exposición de ésta a la acción diaria de los flujos mareales. Así, durante el refluo la marea principalmente colabora con la sedimentación de materiales finos por un aumento en la concentración de éstos y el consecuente aumento en su velocidad de decantación (Allen, 2000). Esta tendencia también se observó en los Cordones gravosos donde la superposición de la planicie mareal permitió la introducción de sedimento arcilloso en la matriz de las muestras de marisma baja, a la vez que la matriz de la marisma alta es arenosa. Es importante agregar que esta dinámica común en un ambiente de circulación restringida como la marisma se expresó en gran parte de las muestras que mostraron un sesgo de finos (asimetría muy positiva), independientemente de la unidad geomorfológica. El bajo grado de selección de los perfiles está dado por un alto desvío estándar, vinculado a la combinación de modos de depositación, demostrando una diferencia en la energía cinética del agente depositacional (Sahu, 1964). De modo que la variación en los valores de selección se debe comúnmente a la adición continua de materiales más gruesos o finos en

proporciones variadas (Ramanathan *et al.*, 2009), comportamiento típico de un ambiente costero. A su vez, la elevada agudeza (*kurtosis*) de todas las muestras indica la predominancia de una población granulométrica y otra muy subordinada (Folk, 1966). Más precisamente, Mason y Folk (1958), explican que la mayoría de las arenas consisten de una población predominante con una muy subordinada más gruesa o más fina. Esto coincide con lo observado, ya que el tamaño promedio predominante en el área de estudio está comprendido en el rango de arena mediana a arena fina con una población subordinada aún más fina.

La composición mineralógica con dominio de cuarzo y plagioclasa en la fracción liviana (Figura 4.42) es coherente con estudios mineralógicos previos en las arenas de la zona como el de Cábana *et al.* (2005), quienes también destacan feldespatos parcialmente alterados a arcillas. Además, entre los minerales pesados, los autores anteriormente citados también acusan observaciones de piroxeno, mineral que se encontró comúnmente en las muestras del presente trabajo (Figura 4.44). En cuanto a la composición de los minerales opacos, Angelelli y Chaar (1967) describen titanomagnetita, ilmenita y hematita para la playa y los médanos al Este de la Isla Jabalí. Mayores porcentajes de minerales pesados en posiciones elevadas respecto a la línea media de marea han sido documentados en otros sitios costeros (Rajganapathi, 2012). En este sentido, su mayor concentración en la marisma alta puede producirse por la selección mecánica por parte de la marea en condiciones de sicigia o extraordinarias durante las cuales alcanza superficies más elevadas y posee mayor energía para el transporte.

Sobre la superficie de muchos de los perfiles estudiados se hallaron costras salinas, cuya formación se relaciona a un clima árido a semiárido en donde la evapotranspiración excede a la precipitación, favoreciendo la precipitación de sales a partir de la evaporación del agua mareal (Alvarez *et al.*, 2014; Galliari *et al.*, 2020). Al estudiar la mineralogía de las costras se hallaron diferencias entre sectores de la marisma y a lo largo del canal Jabalí. En principio, las muestras de la marisma baja mostraron principalmente precipitados de halita, mientras que las de marisma alta fueron mineralógicamente más complejas con mezclas de sales como halita, yeso, bischofita e incluso silvita (Figuras 4.53, 4.55, 4.56 y 4.58). La precipitación de una variedad más amplia de compuestos puede relacionarse a mayor porcentaje de evaporación del agua mareal en los suelos de este sector y la consecuente formación de costras salinas (Carol y Álvarez, 2016). A su vez, los registros más altos de CE en los extractos de suelo se dieron en la transecta más alejada de la boca del canal Jabalí (Figura 4.57), donde una menor irrigación del agua mareal implicaría menor volumen de agua, una tasa de evaporación más rápida y aumento de la salinidad (Cornée, *et al.*, 1992).

Además de la presencia de minerales evaporíticos, puede ocurrir la formación de materiales sulfídicos que requiere de un ambiente reductor (Luther *et al.*, 1982; Otero *et al.*, 2023), lo cual fue comprobado por los valores negativos de Eh en campo y los colores gley de los suelos (Tabla 4.5). En complemento, los registros de pH de oxidación hasta valores de marcada acidez se correspondieron con los horizontes que mostraron los mayores descensos en el pH de incubación (Figura 4.60). La oxidación de minerales

del grupo de los sulfuros da como resultado ácido sulfúrico, repercutiendo en el pH del suelo que desciende paulatinamente. De esta manera, los registros de menor pH a mayor profundidad (Figura 4.59), derivarían de la concentración de materiales sulfídicos en los horizontes más profundos. Es de esperar que a medida que se profundiza en el perfil la formación de materiales sulfídicos se vea favorecida por un ambiente más reductor por menor contacto con la atmósfera, menor bioturbación (como mecanismo de generación de espacios porales) y la cercanía al nivel freático promoviendo la saturación por un período mayor. En adición, los porcentajes más altos de fracción fina en las muestras con pH más ácido también indicaría una relación entre la granulometría y la formación de materiales sulfídicos. En este sentido, el menor tamaño de poro de los sedimentos finos colaboraría con la menor disponibilidad de oxígeno y, en consecuencia, el desarrollo de condiciones reductoras. La comprobación de la existencia de materiales sulfídicos se llevó a cabo en el MEB, donde se identificaron cristales de piritita mayormente en agregados framboidales, característicos de su formación por combinación de procesos biológicos (reacciones anóxicas por bacterias reductoras de sulfatos) y geoquímicos (Figura 4.61).

En cuanto al contenido de materia orgánica, se reconoció una disminución de esta variable a medida que aumenta la distancia a la boca del canal Jabalí, pudiendo estar vinculada dicha disminución al menor caudal del canal en los sectores distales y, por ende, menor disponibilidad de agua para el crecimiento de la vegetación, siendo ésta la principal fuente de materia orgánica. Además, los horizontes con menos materia orgánica sufrieron un descenso abrupto de pH, a la vez que en aquellos con altos porcentajes el pH no varió significativamente. Así, se demuestra la capacidad de amortiguación del pH por oxidación de sulfuros que posee la materia orgánica por su alta capacidad de intercambio catiónico (Ahern *et al.*, 2004). En aquellas muestras que el pH de incubación no llegó a valores ácidos y los contenidos de materia orgánica fueron bajos, es probable que el efecto amortiguador estuviera dado por la presencia de materiales carbonáticos descripta en los perfiles como fragmentos de valvas y cementos. La disolución de carbonatos de calcio y su reacción con el ácido producido por la oxidación de los sulfuros puede resultar en la precipitación de yeso y la generación de dióxido de carbono en la zona no saturada (Ahern *et al.*, 2004), favorecida a su vez por una evapotranspiración elevada.

La granulometría de los suelos, no sólo influye en la generación de materiales sulfídicos, sino que las texturas predominantes en los diferentes sustratos de la marisma repercuten en contrastes de permeabilidad que en superficie se traducen en variaciones en la capacidad de infiltración del agua mareal en el humedal. De esta forma, se aprecia que la zona de humedal asociada a los Cordones gravosos es más permeable en superficie, característica que se explicaría por menor presencia de sedimentos finos en ese tramo. Esto puede deberse a la poca cobertura vegetal que exhibieron los Cordones gravosos, ya que está demostrado que las plantas de las marismas tienen un rol clave en el entrapamiento y unión del sedimento (Allen, 2000). Además, López y García (1998) modelaron los efectos de la vegetación en la capacidad de transporte del sedimento suspendido en canales abiertos, encontrando que dicha capacidad era reducida en relación a los flujos sin más obstáculo que la parte aérea de las plantas. La

tendencia es contraria en las Barras arenosas, favoreciéndose la depositación de finos en el tramo superficial. Estudios de diversas especies vegetales en marismas arenosas hallaron que el incremento de la tasa neta de acreción aumenta cuando la altura de las plantas supera los 8 a 9 cm (Boorman *et al.*, 1998). Dado que en las Barras arenosas se observaron comunidades de *Spartina*, género que supera ampliamente el límite anterior, la vegetación también podría ser responsable de los cambios en la permeabilidad. De hecho, Stumpf (1983) concluyó que la mitad del sedimento en suspensión en una marisma de *Spartina* decantó por el entrapamiento generado por estas plantas. En referencia a la Planicie arenosa, ocurre un aumento de permeabilidad en los tramos más profundos, rasgo heredado de los depósitos ricos en grava de los Cordones holocenos y la Planicie continental baja sobre los que se impuso la planicie mareal en Paso Seco. Una particularidad de esta región es que está colonizada por microorganismos que al segregar SPE (sustancias poliméricas extracelulares) retienen granos detríticos formando una capa impermeable de matas microbianas (Cuadrado *et al.*, 2018). En última instancia, la Planicie fangosa es la única unidad que muestra una permeabilidad homogénea, lo que refleja gran estabilidad en los procesos de decantación de sedimentos finos, predominando en la mayor parte de la marisma.

Por otra parte, la combinación de la posición topográfica y la clase textural de los horizontes superficiales explica las discrepancias temporales entre las fluctuaciones de la marea y el agua subterránea en una misma transecta. Así, el perfil MSB-5 ubicado en la marisma alta y con textura más fina en superficie (franco limosa), lo cual dificulta la infiltración, presenta mayor desfase temporal que el perfil MSB-4 de la marisma baja con textura superficial franco arenosa (Figuras 5.2 y 5.3). En cambio, en el perfil MSB-21 el mayor retardo registrado en la respuesta del nivel freático, probablemente sea a causa de su posición más lejana de la boca del canal Jabalí (Figura 5.9). Además, posee fluctuaciones mayores a MSB-5 debido probablemente a su mayor infiltración superficial, derivada de su composición netamente arenosa. En adición, las oscilaciones menores de MSB-21 con respecto a MSB-4, se explicarían por la lejanía a la boca del canal, razón por la que la influencia del canal Jabalí en este punto podría ser menor. Por otro lado, si bien el flujo mareal es el principal aporte de agua al humedal, la posición más elevada del nivel freático en las geoformas adyacentes al humedal del canal Jabalí respecto del nivel de la marisma, evidencia que el humedal también recibe la descarga de agua subterránea desde los Cordones y Planicies continentales adyacentes. Esta descarga sería de tipo difusa y también el flujo de descarga estaría condicionado por la permeabilidad de los sedimentos y el gradiente hídrico.

A las diferencias hidrodinámicas a lo largo de las transectas, se agrega la diferencia de CE registrada en el agua subterránea (Tabla 6.1). La salinización del agua subterránea en los sectores más elevados de la marisma se da por disolución de costras salinas que se forman por estar más tiempo expuestos a la evaporación (Carol y Álvarez, 2016). En la región de Paso Seco esto se acentúa por la baja circulación de agua, sumada a la poca permeabilidad de las matas microbianas superficiales (Perillo *et al.*, 2018). Como consecuencia, esta región posee los más altos contenidos iónicos del área de estudio. Las facies cloruradas sódicas del humedal (Figuras 6.4 y 6.5) se explican por el aporte mareal evidenciado por las composiciones isotópicas y las relaciones Na^+/Cl^-

cercanas a 0,8 en la marisma baja, típico de agua de mar (Marimuthu *et al.*, 2005). Cabe resaltar que buena parte de las muestras de la marisma alta mostró valores próximos a 1 en la relación anterior (Figuras 6.9b y 6.10b), indicando que podría estar disolviéndose halita (Apelo y Postma, 2005; Cellone *et al.*, 2019) precipitada por evaporación en la superficie de los suelos. La precipitación de carbonatos podría ser otro proceso que ocurre en la marisma producto de la sobresaturación en calcita del agua subterránea (Figuras 6.9f, 6.10f y 6.11f). Un rasgo notorio en el humedal es la sobresaturación en dolomita y la alta concentración de Mg^{+2} (Figuras 6.9h-j, 6.10h-j y 6.11h-j) que provendría del agua del canal de marea y, en menor medida, podría haber contribución de la meteorización de silicatos magnésicos y ferromagnésicos identificados en las muestras de suelos. Sin embargo, el gráfico de relaciones molares atribuye a la meteorización de silicatos como fuente de solutos a las unidades geomorfológicas que circundan la marisma, prevaleciendo en ésta la disolución de minerales evaporíticos (Figura 6.13). Con respecto al yeso, puntos alejados de la boca del canal Jabalí y otros de la zona de Paso Seco (Figuras 6.9l y 6.11l), arrojaron valores de sobresaturación en esta sal. No obstante, el hecho de que el SO_4^{-2} se encuentre en alta proporción, lleva a pensar que este ión podría tener participación en otros procesos geoquímicos como la oxidación de sulfuros (Logan y Nicholson, 1997; Bouza *et al.*, 2019). De acuerdo a los análisis isotópicos en la planicie mareal actual ocurre la mezcla de agua de lluvia y mareal, predominando esta última, especialmente en la marisma baja (Figura 6.14). La señal isotópica asociada al agua de lluvia puede relacionarse a la descarga de agua subterránea que ocurre desde los Cordones y Planicie continental adyacente, las cuales son geoformas en donde ocurre la recarga preferencial del agua subterránea por la infiltración del agua de las lluvias. En estas geoformas el agua de lluvia adquiere iones principalmente por la disolución de $CO_{2(g)}$ y silicatos, y en menor medida por la disolución de sales (Figuras 6.13a y 6.15). De esta manera, la descarga de agua subterránea desde los Cordones y Planicies continentales hacia la marisma también constituye un aporte de iones. No obstante, los porcentajes de aporte desde estas geoformas son escasos. Esto sumado a las bajas concentraciones iónicas del agua subterránea en los Cordones y Planicie continental en comparación con el agua salina de la marisma, hace que dicha descarga no condicione en gran medida la química mayoritaria del agua de la marisma. Por otra parte, en las relaciones de $\delta^{18}O$ con los iones mayoritarios se observa aumento de las concentraciones iónicas sin enriquecimiento isotópico, lo que verifica que la disolución de sales es otro proceso que condiciona la química del agua subterránea de la marisma (Figura 6.16). Estas sales se formarían por la evaporación total del agua mareal durante la pleamar o cuadraturas y serían posteriormente disueltas en las pleamares de sicigias (Alvarez *et al.*, 2015).

Las especies solubles de nutrientes que se analizaron presentan menores proporciones en las unidades del humedal en comparación con la geomorfología adyacente (Figuras 6.17, 6.18 y 6.19). En el caso del NO_3^- , esto se explicaría por la presencia de ganado en los campos que rodean la marisma y sus deposiciones como fuentes de nitrógeno orgánico, dándose una serie de reacciones que culmina con la nitrificación del NH_4^+ (Cellone, 2019). Es apropiado aclarar que, aunque los valores de

NO_3^- son bajos, la nitrificación es un proceso aeróbico, por lo que se vería favorecido en las zonas externas al humedal donde el espesor de la zona no saturada es mayor. En cambio, el fósforo en forma de PO_4^{3-} puede encontrarse en menor cantidad en la marisma por la abundancia de especies vegetales como *Sarcocornia Perennis* con mayor afinidad por el fósforo que por otros nutrientes en comparación con otras especies de marisma (Muñoz y Niell, 2009). El predominio de suelos arcillosos en esta unidad podría contribuir con la adsorción de PO_4^{3-} en la superficie de arcillas (Conzonno, 2009). Además, la abundancia de conchillas y cementos carbonáticos en las gravas de los depósitos que conforman el resto de las geoformas influiría en la cinética del fósforo, ya que los materiales calcáreos disminuyen la fijación de fósforo (Pedrozo *et al.*, 1985). La sustitución de Fe^{+2} por Ca^{+2} en complejos orgánicos fosforados disminuye la retención de fósforo, estando disponible para su incorporación al agua (Böstrom *et al.*, 1982). Por su parte, la sílice reactiva soluble se concentraría más en las unidades geomorfológicas lindantes con la marisma por estar conformadas por materiales más antiguos que la planicie mareal moderna, por lo tanto, el agua subterránea ha tenido más tiempo de intercambio con los sedimentos silicoclásticos.

En relación a los elementos trazas, la geomorfología adyacente presenta menores concentraciones que la marisma (Tabla 6.2). Esto se explica por las fuentes disímiles de aguas para ambos sectores como fue explicado anteriormente, ya que es esperable que en los canales de marea que inundan la marisma la concentración de elementos trazas sea mayor (McCaffrey y Thomson, 1980). El enriquecimiento del agua subterránea con respecto al canal Jabalí en elementos como Li, Se y Rb podría tener un mismo origen. Una gran fuente de Li es la evaporación de agua de mar, por lo que es común encontrarlo en salmueras y salares (Clark, 2015). La mayor entrada de Se en una marisma es a través de los cursos mareales (Velinsky 1991). Por lo tanto, el Li y el Se parecen ser aportados por el agua mareal, al igual que el Rb por su fuerte correlación con estos. La evaporación y posterior disolución de sales, ocasionan la incorporación de mayor cantidad de elementos en la fase acuosa (Carol *et al.*, 2019), lo que explica los mayores contenidos de elementos trazas en la marisma alta (Figura 6.20). Si bien la presencia de As en agua se vincula comúnmente a sedimentos loésicos (Blanco *et al.*, 2018), dada la escasa distribución de éstos en el área de estudio, se considera más relevante la liberación de As a partir de oxihidróxidos de Fe y Mn por desorción a pH entre 7,3 y 8,6 (Smedley *et al.*, 2000). Cabe resaltar que son comunes en el área de estudio óxidos de Fe como magnetita, ilmenita y hematita y que casi todas las muestras de la marisma poseen pH en el rango favorable para la desorción de As (Costa *et al.*, 2021). En cuanto al Fe, también puede ser aportado por silicatos ferromagnesianos alterados a pH elevado, pero al carecer de correlación con este parámetro su aporte se atribuye exclusivamente a variaciones redox (Tanjál, 2021). El Cu generalmente posee un comportamiento similar al Fe, pero su concentración natural suele ser muy baja proveniente de la calcopirita y otros sulfuros. En el agua subterránea las concentraciones pueden ser bajas por la absorción en suelos e incluso en tejidos de

especies de *Spartina* (Ydaszkin *et al.*, 2014). Y en lo que refiere al Sr, es común su incorporación en minerales carbonáticos por sustitución de calcio en la estructura del carbonato a partir del agua de mar.

En último lugar, comprobada la presencia de materiales sulfídicos en el área de estudio, se buscó correlacionar elementos asociados a su formación con el contenido de SO_4^{2-} , hallándose los coeficientes más altos con el Cu, Fe y Se (Tabla 6.3). La fijación de metales formando sulfuros es considerado el principal mecanismo de fijación de metales trazas en suelos (MacCaffrey y Thomson, 1980). La reducción del sulfato y el hierro proviene de la actividad biológica, siendo un proceso común en las marismas por sus condiciones reductoras y salinas (Bouza *et al.*, 2008). Estudios realizados en marismas, han calculado que el Cu posee un grado de piritización similar al Fe o incluso mayor, debido a que la cinética de las reacciones entre este elemento y los sulfuros es más rápida que entre el Fe y los sulfuros (Otero y Macias, 2003). Esto implica que en sedimentos reducidos el Cu puede formar sulfuros, por lo tanto, podría ser parte de la fracción piritica (Zaggia y Zonta, 1997). Por otro lado, si bien las formas dominantes de Se en marismas son Se orgánico y Se^0 , se ha demostrado que el Se (a pesar de no ser un metal) también es capaz de integrar sulfuros en estos ambientes, más precisamente como piritita de Selenio (Velinsky y Cutter, 1991).

7.2 Modelo conceptual del funcionamiento geohidrológico

Las apreciaciones alcanzadas en esta investigación permitieron la construcción de un modelo conceptual del funcionamiento geohidrológico del humedal costero del canal Jabalí en el litoral de Bahía San Blas (Figura 7.1). En este sentido, se consideró para su análisis la relación entre el humedal y la geomorfología adyacente, como así también las diferencias encontradas dentro de la marisma, más precisamente, entre el sector más elevado y el más bajo de la misma.

En primer lugar, los Cordones gravosos pleistocenos ubicados al Oeste del canal Jabalí, están compuestos por conglomerados con frecuentes signos de entoscamiento, mientras que los conglomerados que conforman los Cordones gravosos holocenos al Este del canal poseen menor cementación. Ambos contienen restos de conchillas. En cambio, si bien la marisma se desarrolla sobre diferentes sustratos, lo hace mayoritariamente sobre un sustrato fangoso con continuo aporte de sedimento por la dinámica mareal.

Los Cordones gravosos, tanto pleistocenos como holocenos, funcionan como zona de recarga de agua de lluvia al encontrarse en zonas más elevadas, mientras que la planicie mareal del canal Jabalí representa el sector más bajo y, por ende, la zona de descarga de flujos subterráneos. No obstante, en la marisma ocurre la infiltración de agua mareal desde el canal Jabalí, cuya boca se ubica al Norte del área de estudio, desde donde es alimentado por el canal San Blas. En cuanto al nivel freático, éste acompaña la

topografía en forma tal que presenta cotas mayores en los sectores más elevados y cotas cercanas al nivel del mar donde la topografía es más baja, coincidiendo con las márgenes del canal Jabalí.

Desde el punto de vista hidroquímico, el agua subterránea de los Cordones gravosos pleistocenos exhibe facies cloruradas sódicas con CE que varía entre 14 y 37 mS/cm, a la vez que en los Cordones gravosos holocenos posee facies tanto cloruradas sódicas como bicarbonatadas sódicas con menor CE en un rango de 0,79 a 7,96 mS/cm. Por su parte, en el humedal asociado al canal Jabalí el agua superficial y subterránea es clorurada sódica, aumentando la salinidad del agua mareal hacia el Sur (CE = 49,5 - 71,6 mS/cm). En la marisma el agua subterránea abarca CE entre 21 y 99 mS/cm con los valores más elevados en la marisma alta.

En el humedal y en las geoformas adyacentes, sucede en la zona no saturada la disolución de $\text{CO}_{2(g)}$, lo que aporta iones junto con la disolución de carbonatos, los cuales reprecipitan en los Cordones gravosos pleistocenos, evidenciando mayor evapotranspiración y colaborando con el proceso de entoscamiento. Particularmente en los Cordones gravosos, habitualmente usados para ganadería extensiva, existe un enriquecimiento en el agua subterránea en N, derivado de la nitrificación bacteriana en la zona no saturada por las deposiciones del ganado. En adición, debido al alto contenido de carbonatos, se favorece la disponibilidad de P en el agua subterránea de estas geoformas. En contraposición, la ausencia de ganadería en la marisma conlleva a una menor cantidad de NO_3^- en el agua subterránea y los suelos arcillosos predominantes disminuyen el P en solución al adsorberlo.

Al comparar la marisma alta con la marisma baja, se reconocen diferencias relacionadas a sus posiciones topográficas. Si bien el agua mareal aporta iones y elementos trazas a la marisma, éstos se concentran en la marisma alta. Esto se vincula a que en este sector se da la disolución de sales solubles con cada marea extraordinaria. Posteriormente, estas sales reprecipitan en la parte superficial del suelo por la mayor evapotranspiración dada por las inundaciones menos frecuentes de este sector. Este proceso reiterativo colabora con la salinización del agua subterránea y la formación de costras salinas superficiales en la marisma alta. En cuanto a la marisma baja, en ella ocurre la generación de materiales sulfídicos como la pirita, originada en condiciones anóxicas por la acción de bacterias que reducen el SO_4^{2-} aportado desde el canal Jabalí.

De esta manera, el modelo conceptual presenta las conexiones entre las geoformas adyacentes y el humedal, a pesar de que entre estos ambientes existen características geológicas, hidrodinámicas e hidroquímicas bien diferenciadas. A su vez, muestra las variaciones internas en la marisma que se reflejan en la morfología de los suelos, la mineralogía, la relación entre el agua subterránea y superficial, y los procesos químicos que derivan de estas interacciones.

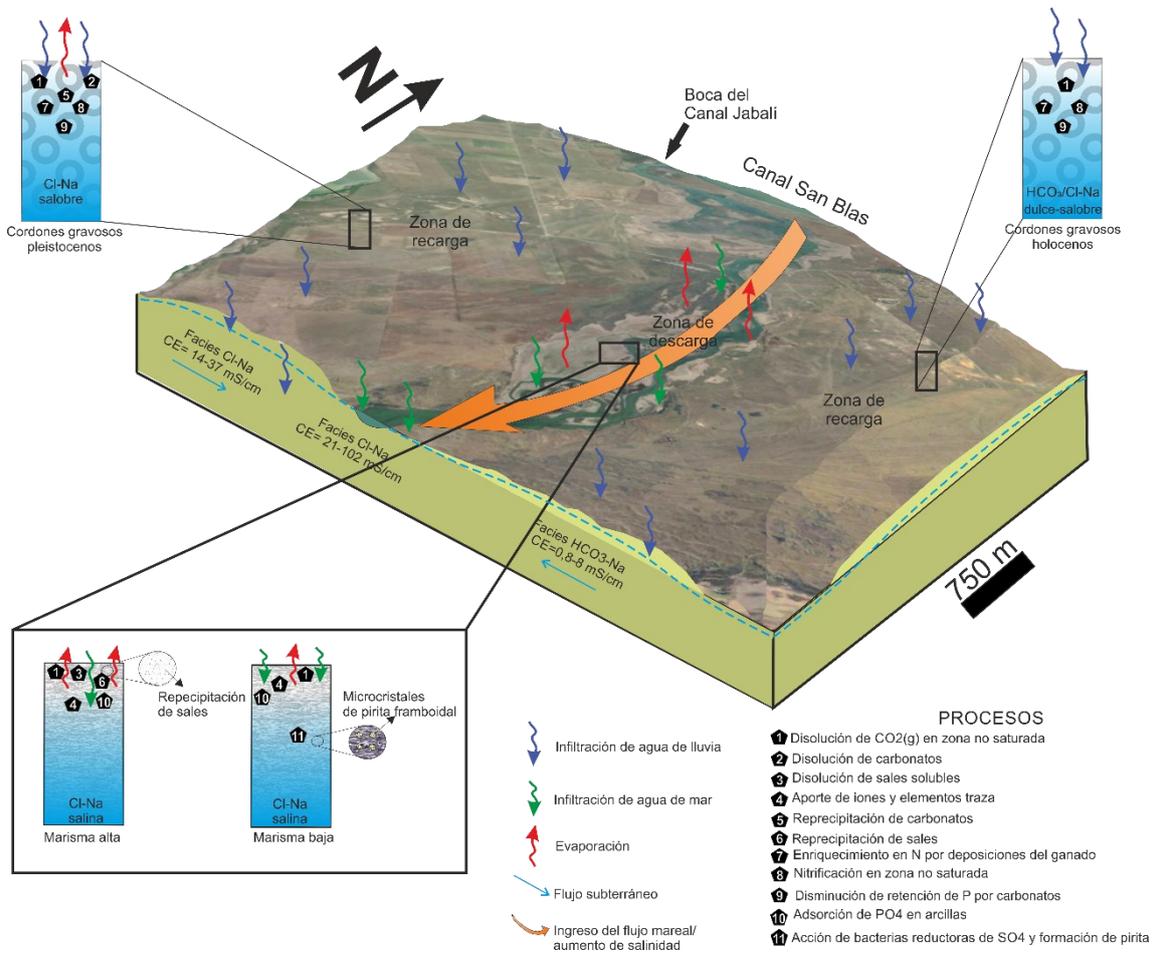


Figura 7.1. Modelo conceptual geohidrológico del humedal asociado al canal Jabalí y la geomorfología adyacente.

8.

CONCLUSIONES

El litoral de Bahía San Blas conforma un entorno marino – costero semiárido en donde las oscilaciones del nivel del mar ocurridas durante el Pleistoceno – Holoceno dejaron su impronta en el paisaje en el cual se reconocen principalmente cordones litorales y planicies intermareales. Dentro de este sistema de paisajes se reconoce al humedal costero del canal Jabalí, alojado en la planicie intermareal de dicho canal y limitado por geoformas más elevadas como Cordones litorales y Planicies continentales.

La marea en el área es de tipo semidiurna con amplitudes medias de 1,62 m. Su ingreso se produce por el Norte en la boca del canal Jabalí y se propaga hacia el Sur constituyendo un extenso canal de marea.

En el humedal, se reconocen ambientes de planicies intermareales no vegetados y ambientes de planicies intermareales vegetadas denominados marismas. En estas últimas se reconocieron dos zonas bien diferenciadas en función de la posición topográfica, la vegetación, el funcionamiento hidrodinámico y las características hidroquímicas: una zona de marisma alta y otra de marisma baja. Asimismo, en estas zonas se observaron diferentes sustratos, los que a su vez repercuten en las clases texturales de las secuencias pedo-sedimentarias.

Dentro del humedal, dominan los suelos del orden Entisoles, presentando abundantes discontinuidades litológicas y rasgos hidromórficos como moteados en la marisma alta y colores gley en la marisma baja. En ambas marismas los suelos tienen elevadas conductividades eléctricas, lo que da a lugar en condiciones climáticas semiáridas a precipitados salinos. En la marisma baja se forman costras salinas compuestas principalmente por halita, mientras que en la marisma alta las sales precipitadas mostraron mayor variedad composicional. Si bien la formación de costras salinas está influenciada por el clima semiárido, la recurrencia de inundación también es otro factor que influye. La menor frecuencia de inundación de la marisma alta genera mayor porcentaje de evaporación total del agua mareal que queda en superficie o en los espacios porales del suelo dando lugar a la precipitación de sales. Eso explica no sólo las discrepancias composicionales sino también las mayores conductividades eléctricas en los suelos del sector más elevado de la marisma.

En cuanto a la mineralogía del sustrato del humedal dentro de la fracción liviana los minerales más abundantes resultaron ser cuarzo y plagioclasa, seguidos por feldespatos. Entre los minerales pesados se destaca el piroxeno y fueron muy comunes los opacos. Además, se comprobó la formación de materiales sulfídicos con descenso significativo de pH e identificación en MEB de agregados framboidales de pirita.

Por otro lado, los distintos sustratos de la marisma producen variaciones de permeabilidad que condicionan a su vez la capacidad de infiltración de los perfiles. Particularmente, la marisma baja presenta un sustrato con mayor porcentaje de finos. En este sentido, la vegetación halófila cumple un rol fundamental en el entrapamiento

y posterior decantación de sedimento en suspensión. También en relación a la permeabilidad, la presencia de matas microbianas en la región de Paso Seco ocasiona una disminución de la permeabilidad de los suelos, lo que disminuye notoriamente la infiltración del agua. Los cambios en la capacidad de infiltración sumados a la posición topográfica, generan distintas respuestas del nivel freático a las fluctuaciones mareales dentro de una misma transecta, mientras que a lo largo del canal Jabalí se suma la distancia a la boca de éste como un factor condicionante en los tiempos de respuesta.

Las mediciones de niveles freáticos permitieron la construcción de esquemas hidrogeológicos en donde se determinó el aporte al humedal de agua subterránea desde las geoformas adyacentes. De esta manera, la geomorfología adyacente conformada principalmente por los Cordones gravosos y las Planicie continentales, representan hidrogeoformas de recarga en donde se infiltra preferencialmente el agua de las precipitaciones. En estas geoformas el agua de lluvia adquiere iones principalmente por la disolución de $\text{CO}_2(\text{g})$ y silicatos, y en menor medida por la disolución de sales presentando facies bicarbonatadas/cloruradas sódicas en los Cordones holocenos y cloruradas sódicas en los Cordones pleistocenos y la Planicie continental alta. En cambio, el agua subterránea de la marisma presenta facies cloruradas sódicas con mayor salinidad que la geomorfología adyacente las que evidencian una clara influencia mareal y disolución de sales evaporíticas como procesos geoquímicos determinantes de su composición. A su vez, la marisma baja posee menor salinidad que la marisma alta y ésta su máxima salinidad en Paso Seco. Esto se explica fundamentalmente por la disolución de sales en los sectores más expuestos a la evaporación y su incorporación al agua subterránea con la inundación mareal.

Por su parte, los nutrientes mostraron mayores concentraciones en la geomorfología adyacente al humedal, pudiendo corresponder su distribución tanto a actividades productivas en los campos aledaños como a la interacción vegetación-agua subterránea-sedimento. La tendencia contraria se aprecia respecto a los elementos trazas, los cuales exhiben contenidos superiores en la marisma en comparación las geoformas periféricas. Esto se debe a los aportes de elementos por parte del agua mareal, concentrándose en la marisma alta por disolución de sales al igual que los elementos mayoritarios. Se postulan otros procesos como fuentes de algunos elementos como la desorción de oxihidróxidos de Fe y Mn para el As, las variaciones redox para el Fe y la absorción en suelos o plantas para el Cu. Por último, respecto a metales como el Fe, el Cu y Ni, pueden participar en la formación de sulfuros en los suelos bajo condiciones reductoras.

Los procesos identificados dan cuenta de la importancia de estudios geohidrológicos en ambientes sensibles como las marismas, cuyo equilibrio depende de una multiplicidad de factores. La complejidad de este tipo de humedales, sumada a su gran valor dado por la amplia variedad de servicios ecosistémicos que proveen tanto ambientales como sociales, hace de su estudio un paso clave en su entendimiento para la generación de líneas bases que colaboren con una gestión responsable y eficiente,

especialmente de áreas protegidas como es el caso del área de estudio de esta tesis doctoral, la cual constituye uno de los humedales costeros más australes de la provincia de Buenos Aires.

9.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahern, C. R., A. E. McElnea and L. A. Sullivan. 2004. Acid Sulfate Soils Laboratory Methods Guidelines. Queensland Department of Natural Resources, Mines and Energy. Indooroopilly, Queensland, Australia. August 2006, Available from URL: www.nrm.qld.gov.au/land/ass/pdfs/lmg.pdf.
- Allen, J. R. L.; Pye, K. 1992. Coastal saltmarshes: their nature and importance. Salt Marshes, Morphodynamics, Conservation and Engineering Significance. Cambridge University Press, Cambridge, 1-18.
- Allen, J. R. L. 2000a. Late Flandrian (Holocene) tidal palaeochannels, Gwent Levels (Severn Estuary), SW Britain: character evolution, and relation to shore. Marine Geology, forthcoming.
- Allen, J. R. L. 2000b. Morphodynamics of Holocene salt marshes: a review sketch from the Atlantic and Southern North Sea coasts of Europe. Quaternary Science Reviews 19 (2000) 1155-1231.
- Alongi, D. M. 2008. Mangrove forests: resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. Environ. Conserv. 29, 331–349. <http://dx.doi.org/10.1017/S0376892902000231>.
- Alvarez, M.P. 2010. Investigación geohidrológica en un sector de Península Valdés, Provincia de Chubut. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata.
- Alvarez, M.; 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.
- Alvarez, M. P; Carol, E.; Hernández, M.; Bouza P. J. 2015. Groundwater dynamic, temperature and salinity response to the tide in Patagonian marshes: observations on a coastal wetland in San José Gulf, Argentina. Journal of South American Earth Sciences 62: 1 – 11. DOI: 10.1016/j.jsames.2015.04.006.
- Alvarez M.P.; Dapeña, C.; Bouza, P. J.; Ríos, I., Hernández, M. A. 2014a. Groundwater Salinization in Arid Coastal Wetlands. A study case from Playa Fracasso, Patagonia, Argentina Environmental Earth Sciences. Springer, DOI 10.1007/s12665-014-3957-3.
- Ambrosini, G. L. 1984. Geomorfología de la isla Jabalí, departamento de Buenos Aires. IX Congreso Geológico Argentino. San Carlos de Bariloche, Actas 513-519, Buenos Aires.
- Anderson, J. T.; Davis, C. A. 2013. Wetland techniques. Springer.
- Andrade, M. L.; Reyzabal, M. L.; Marcet, P.; Montero, M. J. 2002. Industrial impact on marsh soils at the Bahía Blanca Ria, Argentina. Journal of environmental quality, 31, 532-538.
- Andreis, R. R. 1965. Petrografía y paleocorrientes de la Formación Río Negro (tramo General Conesa-boca del Río Negro). Revista del Museo de La Plata, Geología 36: 245-310. La Plata.

- Angelelli, V.; Chaar, E. 1964. Las Arenas de la Bahía San Blas, su Investigación por Minerales de Hierro, Titanio y Circonio. Comisión Nacional De Energía Atómica. Informe N° 122. Buenos Aires.
- Angelelli, V.; Chaar, E. 1967. Los depósitos de titanio-magnetita illmenita y zircón de Bahía San Blas (tramo baliza La Ballena-Faro Segunda Barranca), partido de Carmen de Patagones, provincia de Buenos Aires. Comisión Comisión Nacional de Energía Atómica, Informe N°210, Buenos Aires.
- APHA. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water, 20th ed. American Public Health Association, Washington.
- Barbier, E. B.; Georgiou, I. Y.; Enchelmeyer, B.; Reed, D. J. 2013. The value of wetlands in protecting Southeast Louisiana from hurricane storm surges. PLoS One 8 (3), e58715. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0058715>.
- Beigt, D.; Cuadrado D. G., Piccolo M. C. 2008. Preliminary results of geomorphologic characterization in Bahía San Blas (Argentina). Estuarine Coastal and Science Association 44 Symposium. Bahía Blanca.
- Beigt, D.; Cuadrado, D.G.; Piccolo, M.C. 2009. Resultados preliminares del efecto del viento en la marea de Bahía San Blas. XXIV Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodesias, Resúmenes:287-288, Mendoza.
- Bernasconi, O. H.; Cangilioli, G. H. 1978. Estudio geológico relativo a la conservación de las salinas bonaerenses explotables. Comisión de Investigaciones Científicas. La Plata.
- Blanco, M. C.; Amiotti, N. M.; Espósito, M. E. 2018. Arsénico en suelos y sedimentos del sudoeste pampeano: origen, acumulación en el agua y riesgo para consumo humano. Ciencia del suelo. Vol. 36 no.1. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2018.
- Blott, S. 2010. GRADISTAT, Version 8.0. A Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments by Sieving or Laser Granulometer. Kenneth Pye Associates Ltd. Crowthorne Enterprise Centre Old Wokingham Road. Crowthorne, UK.
- Boorman, L. A.; Garbutt, A.; Barratt, D. 1998. The role of vegetation in determining patterns of the accretion of salt marsh sediment. En: Black, K.S.; Paterson, D.M.; Cramp, A. (Eds.). Sedimentary Processes in the Intertidal Zone. Special Publications 139. Geological Society, London, pp. 389-399.
- Böstrom, B.; Jansson, M.; Forsberg, C. 1982. P release from lake sediments. Arch., Hydrobiol, Beih, Ergebn. Limnol., 18: 5-59.
- Bouza, P. J.; Sain, C.; Bortolus, A.; Ríos, I.; Idaszkin, Y. L. 2008. Geomorfología y características morfológicas y fisicoquímicas de suelos hidromórficos de marismas patagónicas. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes, 2008.
- Bouza, J. P.; Ríos, I.; Idaszkin, Y. L.; Bortolus, A. 2019. Patagonian salt marsh soils and oxidizable pedogenic pyrite: solid phases controlling aluminum and iron contents in acidic soil solutions. Environmental Earth Sciences (2019) 78:2 <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7991-4>.

- Brinson, M. M. 1993. A hydrogeomorphic classification for wetlands. Technical Report WRP- DE-4. U.S. Army Corps of Engineers Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS. 101 pp.
- Cabrera, A. L. 1994. Enciclopedia Argentina de agricultura y jardinería, Editorial Acme S.A.C.I., Buenos Aires. Tomo II. 85 pp.
- Cábana, M. C.; Lanfranchini, M.; Tessone, M. 2005. Depósitos detríticos de hierro, titanio y circonio del litoral atlántico bonaerense. En De Barrio, R.E.; Etcheverry, R. O.; Llambías, E. (Eds.), Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires, Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino. La Plata, Cap. XXIII: 375-386.
- Cabrera, A. L. 1994. Enciclopedia Argentina de agricultura y jardinería. Editorial Acme S.A.C.I., Buenos Aires. Tomo II. 85 pp.
- Carol, E.; Alvarez, M. P., 2016. Processes regulating groundwater chloride content in marshes under different environmental conditions: A comparative case study in Península Valdés and Samborombón Bay, Argentina. *Continental Shelf Research* 115 (2016) 33-43.
- Carol, E.; Alvarez, M. P.; Borzi, G. 2016. Assessment of factors enabling halite formation in a marsh in a humid temperate climate (Ajó Marsh, Argentina). *Marine Pollution Bulletin*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.03.031>.
- Carol, E. S.; Alvarez, M. P.; Tanjal, C.; Bouza, P. J. 2021. Factors controlling groundwater salinization processes in coastal aquifers in semiarid environments of north Patagonia, Argentina. *ELSEVIER, Journal of South American Earth Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103356>.
- Carol, E.; Braga, F.; Donnici, S.; Krusec, E.; Tosi, L. 2017. The hydrologic landscape of the Ajó coastal plain, Argentina: An assessment of human-induced changes. *ELSEVIER, Anthropocene* 18 (2017) 1–14.
- 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. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2011.04.007.
- Carol, E.; Mas-Pla, J.; Kruse, E. 2013. Interaction between continental and estuarine waters in the wetlands of the northern coastal plain of Samborombón Bay. *Appl Geochem* 34:152–163.
- Carol, E.; Tanjal, C.; Alvarez, M. P.; Di Lello, C. 2019. Abundancia y distribución de elementos trazas en el agua superficial y subterránea de la marisma del río Ajó. V RAGSU. La Plata, 2019.
- Casadío, S.; Montalvo, C.; Parras, A.; Manera, T. 1999. Paleontología y sedimentología de las sedimentitas continentales del cretácico superior aflorantes en el sureste de La Pampa. *Jornada de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de la Pampa, Trabajos de Investigación, Abstracts*: 66-67. La Pampa.

- Casadío, S.; Manera, T.; Parras, A.; Montalvo, C.; Cornachione, G. 2000. Primer registro en superficie de sedimentitas continentales del Cretácico Superior en la Cuenca del Colorado, sureste de La Pampa. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 55 (1-2): 129-133.
- Cellone, F. 2019. Evaluación de los recursos hídricos en un sector de la planicie costera del Río de la Plata. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Naturales y Museo – UNLP. La Plata, 2019.
- Cellone, F.; Carol, E.; Tosi, L. 2019. Groundwater geochemistry in coastal wetlands: A case study in the Parque Costero del Sur biosphere reserve, Argentina. *Catena* 182, pp. 1-9.
- Chuvieco Salinero, E. 2002. Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio. Ed. Ariel Ciencia, Barcelona.
- Clark, I. 2015. *Groundwater Geochemistry and Isotopes*. Ed. CRC Press, Taylor & Francis Group, Nueva York.
- Conzonno, V. 2009. *Limnología química*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. La Plata, 222.
- Cornée, A.; Dickman, M.; Busson, G. 1992. Laminated cyanobacterial mats in sediments of solar salt works: Some sedimentological implications. *Sedimentology* 39: 599–612.
- Cortizo, L. C.; Isla, F. I. 2012. Dinámica de la barrera medanosa e islas de barrera de Patagones (Buenos Aires, Argentina). *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, Vol. 19, Núm. 1, Pp. 47-63. Asociación Argentina De Sedimentología Buenos Aires.
- Costa, L.; Mirlean, N.; Quintana, G.; Adebayo, S.; Johannesson, K. 2021. Effects of Bioirrigation and Salinity on Arsenic Distributions in Ferruginous Concretions from Salt Marsh Sediment Cores (Southern Brazil). *Aquatic Geochemistry*, 27, 79-103.
- Costanza, R. O.; Pérez-Maqueo, O.; Martinez, M. L.; Sutton, P.; Anderson, S. J.; Mulder, K. 2008. The value of coastal wetlands for hurricane protection. *AMBIO: J. Hum. Environ.* 37, 241–248.
- Cuadrado, D. G.; Gómez, E. A. 2010. Geomorfología y dinámica del Canal San Blas, Provincia De Buenos Aires (Argentina). *Latin American Journal of Sedimentology And Basin Analysis*, Vol. 17 (1) 2010, 3-16.
- Cuadrado, D. G.; Martinez, A. M.; Quijada, I. E.; Maisano, L.; Gómez, E. A.; Raniolo, L. A. 2018. Precipitación de evaporitas en una cuenca salina caracterizada por actividad microbiana. VII Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología. Puerto Madryn, 2018.
- Custodio Gimena, E. 2011. *Hidrogeología en regiones semiáridas y áridas*. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica, Grup d'Hidrologia Subterrània (GHS).
- Darwin, C. 1846. Geological observations in South America. En: *The Geology of the voyage of the Beagle*. Londres.

- Davies Jr, R. A.; FitzGerald, D. M. 2004. *Beaches and Coasts*. Blackwell Science Ltd, Reino Unido.
- De Aparicio, F.; Difrieri, H. A. 1958. *La Argentina, suma de geografía*. Ediciones Peuser, 1ª edición, Buenos Aires.
- Di Giácomo, A. S (Ed). 2005. Áreas importantes para la conservación de las aves en Argentina. Sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad. *Temas de Naturaleza y Conservación*, 5: 1-514. Aves Argentinas/Asociación Ornitológica del Plata. Buenos Aires.
- D'Orbigny, A. D. 1842. *Voyage dans l' Amerique Meridionale*. Volumen 3, parte 3. París et Strasbourg.
- Doorenbos, J.; Pruitt, W. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrig. and Drain. Paper No. 24, 2nd ed., 156 pp.
- Escapa, M.; Isaac, J. P.; Daleo, P.; Alberti, J.; Iribarne, O.; Borge, M.; Dos Santos, E.; Gagliardini, D.; Lasta, M. 2004. The distribution and ecological effects of the introduced pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) in northern patagonia. *Journal of Shellfish Research*, 23 (3).
- Espinosa, M. A.; Isla, F. I. 2011. Diatom and Sedimentary Record During the Mid-Holocene Evolution of the San Blas Estuarine Complex, Northern Patagonia, Argentina. *Ameghiniana*, 48(4):411-423. DOI: [http://dx.doi.org/10.5710/AMGH.v48i4\(375\)](http://dx.doi.org/10.5710/AMGH.v48i4(375))
- Etcheverría, M.; Folguera, A.; Dal Molín, C.; Dalponte, M.; Ferro, G. 2006. Hojas Geológicas 4163-II/IV y I/III, Viedma y General Conesa. Provincias de Río Negro y Buenos Aires. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 366, 67p. Buenos Aires.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2009. Permeabilidad del suelo. Colección FAO capacitación. Disponible en: https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm.
- Faulkner, P. 2000. Tectonic and thermal evolution of South Atlantic marginal basins. Informe interno YPF S.A.
- Fidalgo, F.; J.C. Riggi. 1970. Consideraciones geomorfológicas y sedimentológicas sobre los Rodados Patagónicos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 25(4), 430-443.
- Fiori, S. M.; Bricchi, M. 2006. Análisis del desarrollo de la pesca deportiva en la Reserva Natural de Usos Múltiples Bahía San Blas. *Actas de las IV Jornadas Interdisciplinarias del Sudoeste Bonaerense*. B. Bca. EDIUNS. 2: 263-269.
- Fiori, S. M.; Carbone, M. E. 2006. Los ambientes naturales de la Reserva de Usos Múltiples Bahía San Blas. *Actas de las IV Jornadas Interdisciplinarias del Sudoeste Bonaerense*. B. Bca. EDIUNS. 2: 97-103.
- Fitzpatrick, R.; Shand, P. 2008. Inland acid sulfate soils: overview and conceptual models. En Fitzpatrick, R. y Shand, P. (eds) *Inland acid sulfate soil systems across Australia*. CRC LEME Open File Report No. 249 (Thematic Volume). CRC LEME, Perth pp 6–74.

- Folk, R. L. 1954. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. *Journal of Geology*, 62, 344-359.
- Folk, R. L. 1974. *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill Publi. Austin, 182 pp.
- Folk, R. L. 1966. A review of the grain size parameters. *Sedimentology* 6:73–93.
- Franchi, M. R. 1977. Hojas 39 M y 40 M, Viedma 39 N, Isla San Blas, Provincias de Buenos Aires y Río Negro. 67 p. Servicio Geológico Nacional y Servicio Minero Nacional. Buenos Aires.
- Frenguelli, J. 1957. *Geografía de la República Argentina-Neozoico*. Tomo 2, Nº 2, Tercera parte. Buenos Aires.
- Fryklund, B.; Marshall, A.; Stevens, J. 1996. Cuenca del Colorado. En: Ramos, V. A. y Turic, M. A. (Eds.), *Geología y Recursos Naturales de la Plataforma Continental Argentina*. 13^{er} Congreso Geológico Argentino y 3^{er} Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Relatorio, 8, p. 135-158. Buenos Aires.
- Fucks, E., Charó, M., Aguirre, M. y Farinati, E. 2011. Aspectos geomorfológicos y estratigráficos del litoral patagónico bonaerense. XVIII Congreso Geológico Argentino. Actas, 275-276.
- Fucks, E., Charó, M., Pisano, F. 2012. Aspectos geomorfológicos y estratigráficos del sector oriental patagónico bonaerense. *Revista de la Sociedad Geológica de España*. 25 (1-2), 29-44.
- Gaillardet, J.; Dupre, B.; Louvat, P.; Allegre, C. J. 1999. Global silicate weathering and CO₂ consumption rates deduced from the chemistry of large rivers. *Chemical Geology*, 159: 3-30.
- Galliari, J.; Santucci, L.; Misseri, L.; Carol, E.; Alvarez, M. P. 2021. Processes controlling groundwater salinity in coastal wetlands of the southern edge of South America. *Science of The Total Environment*. 754 (2021), 141951.
- Gardner, L. R. 2005. Role of geomorphic and hydraulic parameters in governing pore water seepage from salt marsh sediments. *Water resources research*, 41(7).
- Geiger, R. 1954. *Klassifikation der Klimate nach W. Köppen (Classification of climates after W. Köppen)*. Landolt-Börnstein – Zahlenwerte und Funktionen aus Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik und Technik, alte Serie. Berlín: Springer. 3. pp. 603–607.
- Gerster, R.; Welsink, H.; Ansa, A.; Raggio, F. 2011. Cuenca de Colorado. VIII Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Simposio Cuencas Argentinas: visión actual. Mar del Plata.
- Giblin, A. E. 1988. Pyrite formation in marshes during early diagenesis. *Geomicrobiol. J.* 6, 77-97.
- Gil, M. M.; Harvey, M. A.; Esteves, J. L. 1999. Heavy Metals in Intertidal Surface Sediments from the Patagonian Coast, Argentina. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* (1999) 63:52-58.

- Glok Galli, M. G.; Martínez, D.E.; Kruse, E.E.; Lima, L. 2013. Procesos hidrogeoquímicos en las aguas subterráneas de la cuenca de la laguna Mar Chiquita, provincia de Buenos Aires. VIII Congreso Argentino de Hidrogeología y VI Seminarios Hispano-Latinoamericano.
- Glok Galli, M. G.; Martínez, D. E.; Kruse, E. E.; Grondona, S. I.; Lima, M. L. 2014. Hydrochemical and isotopic characterization of the hydrological budget of a MAB Reserve: Mar Chiquita lagoon, province of Buenos Aires, Argentina. *Environmental Earth Sciences*, 72(8), 2821-2835.
- Gómez Ríos, J. M. 2017. Análisis de frecuencia hidrológico multivariado para eventos extremos mediante funciones cópula arquimedianas. Casos de estudio: cuenca baja del Río Tunjuelo y región de la Mojana (Colombia). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D. C., Colombia.
- Gonfiantini, R. 1978. Standards for stable isotope measurements in natural compounds. *Nature* 271 (5645), 534.
- Guimond, J.; Tamborski, J. 2021. Salt marsh hydrogeology: A review. *Water*, 13(4), 543.
- Hargreaves, G. (1956). Irrigation water requirements based on climatic data. *Journal of Irrigation and Drainage Division*. Proceeding Paper 1105 1-10.
- Hatfield, J. L. 1990. Agroclimatology of semiarid lands, *Advances in Soil Sciences*, vol. 13, Springer-Verlag, New York, p. 9-26.
- Heras, R. 1972. *Manual de Hidrología*. Madrid: Centro de Estudios Hidrográficos y Dirección General de Obras Hidráulicas.
- Hounslow, A. W. 1995. *Water Quality Data: Analysis and Interpretation*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, pp. 416.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 1989. Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires. Escala 1: 500.000.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (sitio web). 2019. Sedes en el país. Centros Regionales y Estaciones Experimentales Agropecuarias. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/inta>. Consultado en Agosto 2019.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) – Instituto de Suelos y Ministerio de Asuntos Agrarios (MAA) – Departamento de Suelos y Agua. 2010. Carta de Suelos de los partidos de Villarino y Patagones a escala aprox. de 1:200.000. Convenio INTA-MAA de la provincia de Bs. As. 2005-2008.
- Isacch, J.P.; Costa, C.S.B.; Rodríguez-Gallego, L.; Conde, D.; Escapa, M.; Gagliardini, D.A.; Iribarne, O.O. 2006. Distribution of Salt marsh plant communities associated with environmental factors along a latitudinal gradient on the southwest Atlantic coast. *Journal of Biogeography*, no. 33, pp. 888–900.
- Isacch, J.; Escapa, M.; Fanjul, E.; Iribarne, O. 2010. Valoración ecológica de bienes y servicios ecosistémicos en marismas del Atlántico Sudoccidental. Valoración de servicios ecosistémicos: conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial. Buenos Aires: INTA, 529-551.
- Isla, F. I.; Bertola, G. R. 2003. Morfodinámica de playas meso-micromareales entre Bahía Blanca y Río Negro. *Asociación Argentina de Sedimentología, Revista* (2003), vol. 10 nº 1: 65-74. ISSN 0328 1159.

- Juan, R.; De Jager, J.; Russel, J.; Gehard, I. 1996. Flanco Norte de la Cuenca del Colorado. En Ramos, V. A. y Turic, M. A. (Eds.) Geología y Recursos Naturales de la Plataforma Continental Argentina. 13^{er} Congreso Geológico Argentino y 3^{er} Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Relatorio 7: 117-133.
- Kaasschieter, J. P. H. 1963. Geology of the Colorado basin. Tulsa Geological Society Digest, v. 31, p. 177-187.
- Kaasschieter, J. P. H. 1965. Geología de la cuenca del Colorado. II Jornadas Geológicas Argentinas, Actas, III: 251-269. Buenos Aires.
- Kohler, M. A. 1949. Double-Mass Analysis for Testing the Consistency of Records and for Making Required Adjustments. Bull. Am. Meteorol. Soc. Vol.30, pp.188-189. Kresic, N. (2007). Hydrogeology and groundwater modeling. Taylor y Francis Group, LLC. ISBN-13: 978-0-8493-3348-4.
- Laboratorio de salinidad de Estados Unidos. 1993. Rehabilitación y diagnóstico de suelos salinos y sódicos. Ed. Limusa, Noriega editores. Cap. 2, p. 13-16. México, D. F.
- 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.
- Lesta, P. J.; Turic, M. A.; Mainardi, E. 1979. Actualización de la información estratigráfica en la Cuenca del Colorado. 7° Congreso Geológico Argentino, Actas: 701-713.
- Lin, C.; Melville, M. D.; Hafer, S. 1995. Acid sulphate soil-landscape relationships in an undrained, tide-dominated estuarine floodplain, Eastern Australia. ELSEVIER, Catena 24 (1995) 177-194.
- Lin, C.; Melville, M. D.; White, I.; Hsu, Y. P. 1996. Comparison of three methods for estimation of the reduced-S content in estuarine sediments. Sci Total Environ 87:1–9.
- Logan, W. S.; Nicholson, R. V. 1997. Origin of dissolved groundwater sulphate in coastal plain sediments of the Rio de la Plata, Eastern Argentina. Aquatic Geochemistry, 3, 305-328.
- López, F.; García, M. 1998. Open-channel flow through simulated vegetation: Suspended sediment transport modeling. Water Resources Research 34, 2341-2352.
- Luther III, G. W.; Giblin, A.; Howarth, R. W.; Ryans, R. A. 1982. Pyrite and oxidized iron mineral phases formed from pyrite oxidation in salt marsh and estuarine sediments. Geochimica et Cosmochimica Acta, 46(12), 2665-2669.
- Maisano, L.; Cuadrado, D. G.; Gómez, E. A.; Raniolo, L. A. 2018. Procesos de formación de estructuras sedimentarias de deformación en sedimentos colonizados por microorganismos. 7° Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología. Puerto Madryn.
- Malumián, N. 1970. Bioestratigrafía del Terciario marino del subsuelo de la provincia de Buenos Aires (Argentina). Ameghiniana, 7(2): 173-204. Buenos Aires.
- Malumián, N.; Suriano, J. M.; Cobos, J. C., 1998. La Formación Barranca Final en su localidad tipo. Mioceno, cuenca del Colorado. Actas 10° Congreso Latinoamericano de Geología y 6° Congreso Nacional de Geología Económica, 1: 125-130. Buenos Aires.

- 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.
- Marimuthu, S.; Reynolds, D. A.; La Salle, C. L. G. 2005. A field study of hydraulic, geochemical and stable isotope relationships in a coastal wetlands system. *Journal of Hydrology* 315 (1-4), pp. 93-116. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.03.041>.
- Martínez, D. E.; Quiroz Londoño, O. M.; Dapeña, C.; Glok-Galli, M.; Massone, H. E.; Ferrante, A. 2011. Caracterización isotópica e hidroquímica de las precipitaciones en el sector sur de Tandilia. VII Congreso Argentino de Hidrogeología y V Seminario Hispano-Latinoamericano Sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Calidad y Contaminación de Agua Subterránea. Salta, 2011.
- Martínez Cob, A. 2002. Evaluación de métodos de cálculo de la evapotranspiración de referencia diaria y mensual en Aragón. XXXIV Jornada de Aida: Producción Sostenible en el Medio Agrario. ITEA Vegetal extra n° 23.
- Mason, C. C.; Folk, R. L. 1958. Differentiation of beach, dune, and aeolian flat environments by size analysis. Mustang Islands, Texas. *J. Sediment. Petrol.*, 28:21 1-226.
- McCaffrey, R. J.; Thomson, J. 1980. A record of the accumulation of sediment and trace metals in a connecticut salt marsh. *Advances in Geophysics*, Volume 22. ISBN 0-12-018822-8.
- McManus, J. 1988. Grain size determination and interpretation. En *Techniques in Sedimentology*. Ed. Tucker M Blackwell. Oxford, UK 63–85.
- Moffett, K. B.; Gorelick, S. M.; McLaren, R. G.; Sudicky, E. A. 2012. Salt marsh ecohydrological zonation due to heterogeneous vegetation–groundwater–surface water interactions. *Water Resources Research*, 48(2).
- Moffett, K. B.; Gorelick, S. M. 2016. Relating salt marsh pore water geochemistry patterns to vegetation zones and hydrologic influences. *Water Resour. Res.*, 52, doi:10.1002/2015WR017406.
- Montalto, F.; Steenhuis, T.; Parlange, J. 2006. The hydrology of Piermont Marsh, a reference for tidal marsh restoration in the Hudson River estuary, New York. *J. Hydrol.* 316, 108–128.
- Morris, J. T.; Sundareshwar, P. V.; Nietch, C. T.; Kjerfve, B.; Cahoon, D. R. 2002. Responses of coastal wetlands to rising sea level. *Ecology*, 83(10), 2869-2877.
- 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 Original. *Physics and Chemistry of the Earth*, 36: 167-178.
- Muñoz, R.; Niell, X. 2009. Incorporación de nitrógeno y fósforo por *Sarcocornia perennis* (Miller) A. J. Scott en concentraciones reales en el estuario del río Palmones. *Limnetica*, 28 (2): 215-224 (2009). DOI: 10.23818/limn.28.17.
- Newton, A.; Carruthers, T. J; Icely, J. 2012. The coastal syndromes and hotspots on the coast. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 96, 39-47.

- Newton, A.; Icely, J.; Cristina, S.; Perillo, G. M.; Turner, R. E.; Ashan, D.; ...Kuenzer, C. 2020. Anthropogenic, direct pressures on coastal wetlands. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8, 144.
- Nicholls, R.J.; Woodroffe, C.D.; Burkett, V.; Hay Wong, P.; Nurse, L. 2011. Scenarios for coastal vulnerability assessment. In: van den Belt, M., Costanza, R. (Eds.), *Treatise on Estuarine and Coastal Science Ecological Economics of Estuaries and Coasts 12*. Elsevier, Amsterdam, pp. 289–303.
- Odum, E. P. 1978. The value of wetlands: a hierarchical approach. PEJRC a. JEC Gresson (ed.) *Wetland Functions and Values: the State of Our Understanding*. American Water Resources Association.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). 1986. Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation. Second Edition. Operation Hydrology Reports No. 1. WMO – Nro. 32. Ginebra.
- Otero, X. L.; Macias, F. 2003. Spatial variation in pyritization of trace metals in salt-marsh soils. *Biogeochemistry*, 62(1), 59–86. doi:10.1023/a:1021115211165.
- Otero, X. L.; Guevara, P.; Sánchez, M.; López, I.; Queiroz, H. M.; Ferreira, A.; ...; Carballo, R. 2023. Pyrites in a salt marsh-ria system: Quantification, morphology, and mobilization. *Marine Geology*, 455, 106954.
- Panza, J. L. 1995. Hoja Geológica 4969-II, Tres Cerros. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina. Dirección Nacional del Servicio Geológico. Boletín 213: 1-103. Buenos Aires.
- Paoloni, J.D (compilador). 2010. Ambiente y recursos naturales del partido de Bahía Blanca: clima, geomorfología, suelos y aguas - 1ª Ed. – Bahía Blanca: Universidad Nacional del Sur, Ediuns.
- Parkhurst, D. L., Appelo C. A. J. 1999. PHREEQC (Versión 2). US Geological Survey Water Resources Investigations Report 99-4259. A computer program for speciation, batch reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations.
- Parras, A.; Malumián, N.; Camilletti, C.; de Elorriaga, E.; Visconti, G.; Fernández, M. 2000. Invertebrados marinos del Neógeno en el sureste de la provincia de La Pampa, Argentina. *Ameghiniana* 37(4), Suplemento, p. 77 R. Buenos Aires.
- Pascual-Aguilar, J.; Andreu, V.; Gimeno-García, E.; Picó, Y. 2015. Current anthropogenic pressures on agro-ecological protected coastal wetlands. *Sci. Total Environ.* 503- 504, 190–199.
- Pastén, M.; González, V.; Espínola, C. 2011. Clasificación climática del Paraguay utilizando los métodos de Köppen y Thornthwaite. Informe final. Universidad Nacional de Asunción. Facultad Politécnica. San Lorenzo, Paraguay. 43p.
- Pedrozo, F. L.; Bonetto, C. A.; Ramos, A.; Minzoni, F. 1985. Fijación de fondo en sedimentos de fondo de los ríos Paraná, Paraguay y Bermejo. *ECOSUR, Argentina*, v. 12/13, n 23/24: 59-68.
- Penman, H. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London*, 120-146.
- Perillo, G.; Iribarne O. 2003. Processes of tidal development in salt and freshwater marshes. *Earth Surf. Process. Landforms*. 28, 1473-1482.

- Perillo, G. M.; Wolanski, E.; Cahoon, D. R.; Brinson, M. M. (Eds.). 2009. Coastal wetlands: an integrated ecosystem approach. Elsevier.
- Perillo, G. M. E. 2019. Geomorphology of Tidal Courses and Depressions. En Coastal Wetlands: An Integrated Ecosystem Approach (2da Edición). Ed. Elsevier, Cap. 6, 221-261.
- Perillo, V. L.; Maisano, L.; Martínez, A. M.; Quijada, I. E.; Cuadrado, D. G. 2018. Evolución química del agua en un ambiente silicoclástico costero salino costero. V Reunión Argentina de Geoquímica de la Superficie. Puerto Madryn, 2018.
- Piper, A. M. 1953. A Graphic Procedure in the Chemical Interpretation of Water Analysis. US Geological Survey Groundwater Note, 12.
- Pye, K.; French, P. E. 1993. Erosion and accretion processes on British Salt Marshes. Vol. 1, Introduction: Saltmarsh Processes and Morphology. Cambridge Environmental Research Consultants, Cambridge.
- QGIS Development Team, 2020. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Version 3.10.6 A Coruña. <https://qgis.org>.
- Rabinowitz, P. D.; LeBrecque, J. L. 1979. The Mesozoic South Atlantic Ocean and evolution of its continental margins. Journal of Geophysical Research 84, p. 5973-6002.
- Raggio, F.; Gerster, R.; Welsink, H. 2011. Cuencas del Salado y Punta del Este. Simposio de Cuencas del VIII Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Mar del Plata, Buenos Aires.
- Rajganapathi, V. C.; Jitheshkumar, N.; Sundararajan, M.; Bhat, K. H.; Velusamy, S. 2013. Grain size analysis and characterization of sedimentary environment along Thiruchendur coast, Tamilnadu, India. 6(12), 4717–4728.
- Ramanathan, A. L.; Rajkumar, K.; Majumdar, J.; Singh, G.; Behera, P. N.; Santra, S. C.; Chidambaram, S. 2009. Textural characteristics of the surface sediments of a tropical mangrove Sundarban ecosystem India. Indian J Mar Sci, 38(4):397–403.
- Ramos, V. A. 1999. Las provincias geológicas del territorio argentino. En: Caminos, R. (Ed.), Geología Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 29 (3): 41-96. Buenos Aires.
- Richter, M. 1981. Methods of soil analysis. Agronomy 9.
- Ríos, I.; Bouza, P. J.; Bortolus, A.; Alvarez, M. P. 2018. Soil-geomorphology relationships and landscape evolution in a southwestern Atlantic tidal salt marsh in Patagonia, Argentina. Elsevier, Journal of South American Earth Sciences 84 (2018), 385–398.
- Ritchey, E. L.; McGrath, J. M.; Gehring, D. 2015. Determining Soil Texture by Feel. Agriculture and Natural Resources Publications, p. 139. Disponible en: https://uknowledge.uky.edu/anr_reports/139.
- Roth, S. 1898. Apuntes sobre la geología y la paleontología de los territorios del Río Negro y Neuquén. Revista Museo de la Plata. Tomo 9. La Plata.
- Russo, A.; Ferello, R.; Chebli, G. 1979. Llanura Chaco Pampeana. Segundo Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba. I: 139-183.
- Rutter, N., Schnack, E., del Río, J., Fasano, J., Isla, F. y Radtke, U. 1989. Correlation and Dating Quaternary Littoral Zones Along the Patagonian Coast, Argentina. Quaternary Science Reviews, 8:213-234.

- Sahu, B. K. 1964. Depositional Mechanisms from the Size Analysis of Clastic Sediments. SEPM Journal of Sedimentary Research. Vol. 34(). Disponible en: doi:10.13smedle06/74D70FCE-2B21-11D7-8648000102C1865D
- Salas, J. D. 2000. Hidrología de zonas áridas y semiáridas. Ingeniería del agua. Vol. 7 – N° 4.
- Schoeneberger, P. J.; Wysocki, D. A.; Benham, E. C.; Broderson, W. D. (editores) 2002. Field Book for describing and sampling soils, versión 2.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
- Scian, B.; Mattio, H. 1975. Informe Técnico del Programa Balance Superficial de Aguas en la Provincia del Chubut. Puerto Madryn, Centro Nacional Patagónico.
- Servicio Meteorológico Nacional (sitio web). 2018. Catálogo de Datos abiertos. Estadísticas climáticas normales. Disponible en <https://www.smn.gov.ar/descarga-de-datos>. Consultado en Agosto 2018.
- Schnack, E.; Isla, F.; De Francesco, F.; Fucks, E. 2005. Estratigrafía del Cuaternario marino tardío en la provincia de Buenos Aires. En: R., De Barrio, R. Etcheverry, M. Caballé, y E. Llambías (Eds.), XVI Congreso Geológico Argentino, Geología y Recursos Minerales de la provincia de Buenos Aires, Relatorio 159-182.
- Servicio de Hidrografía Naval (SHN). 2022. Modelos numéricos de ondas de tormenta. Disponible en: SHN | Servicio de Hidrografía Naval. Fecha de consulta: 24/04/2022.
- Servicio de Hidrografía Naval (SHN). 2022. Datos abiertos – Tablas de marea. Disponible en: http://www.hidro.gov.ar/oceanografia/Tmareas/Form_Tmareas.asp. Fecha de consulta: 22/7/2022.
- Silvestri, S.; Marani, M. 2004. Salt-Marsh Vegetation and Morphology: Basic Physiology, Modelling and Remote Sensing Observations. The Ecogeomorphology of Tidal Marshes Coastal and Estuarine Studies, 59. American Geophysical Union.
- Simler, R. 2009. Diagrammes: Logiciel d'hydrochimie multilangage en distribution libre (Versión 6.59). Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon.
- Skrzypek, G.; Dogramaci, S.; Grierson, P. F. 2013. Geochemical and hydrological processes controlling groundwater salinity of a large inland wetland of northwest Australia, Chemical Geology, Volume 357, 24 164-177.
- Smedley, P. L.; Macdonald, D. M. J.; Nicolli, H. B.; Barros, A. J.; Tullio, J. O.; Pearce, J. M. 2000. Arsenic and Other Quality Problems in Groundwater from Northern La Pampa Province, Argentina. British Geological Survey Technical Report WC/99/36.
- Soil Conservation Service. 1991. Hydric soils of the United States. USDA-SCS Misc. Publ. 1491. Natl. Tech. Common Hydric Soils, Lincoln. NE. Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy. 12th edition. United States, Department of Agriculture. Washington, DC. 360 pp.
- Soil Survey Staff. 1999. Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. USDA-SCS Agric. Handbook. 436. Washington, DC.
- Stempels Bautista, C. 2019. Ondas de tormenta en la zona costera de Paso Seco, Buenos Aires, Argentina. Tesis doctoral. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca.
- Stumpf, R.P. 1983. The process of sedimentation on the surface of a salt marsh. Estuarine, Coastal and Shelf Science 17, 495-508.

- Sullivan, L. A.; Ward, N. J.; Bush, R. T.; Burton, E. D. 2008. Improved identification of sulfidic soil materials by a modified incubation method. *ELSEVIER, Geoderma* 149 (2009) 33–38.
- Systat Software, Inc. 2019. SigmaPlot (Versión 14.0). San Jose, California, Estados Unidos. Disponible en www.systatsoftware.com.
- Tankard, A. J.; Ulian, M. A., Welsink, H. J.; Ramos, V. A.; Turic, M.; Franca, A. B., Milani, E. J.; De Brito Neves, B. B.; Eyles, N.; Skarmeta, J.; Santa Ana, H.; Wiens, F.; Cirbian, M.; Lopéz Paulsen, O.; Germs, G. J. B.; de Wit, M. J.; Machacha, T; Miller, R. McG. 1995. Structural and tectonic controls of basin evolution in southwestern Gondwana during the Phanerozoic. En: Tankard, A.J.; Suárez Soruco, R.; Welsink, H. J. (Eds.). *Petroleum basins of South America. AAPG Memoir* 62, p. 5-52.
- Tanjal, C. 2021. Estudios sedimentológicos, geohidrológicos y geoquímicos para la evaluación de fuentes alternativas de agua subterránea dulce en sectores del litoral de Bahía Samborombón, provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral. FCNyM-UNLP.
- Thibodeau, P. M.; Gardner, L. R.; Reeves, H. W. 1998. The role of groundwater flow in controlling the spatial distribution of soil salinity and rooted macrophytes in a southeastern salt marsh, USA. *Mangroves and Salt Marshes*, 2(1), 1-13.
- Thornthwaite, C. W.; Mather, R. J. 1955. The water balance. *Publications in climatology, laboratory of climatology*. Centerton, NJ. 104 pp.
- Thornthwaite, C. W.; Mather, R. J. 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and water balance. Centerton, 312 págs.
- Tosi, L.; Kruse, E.; Braga, F.; Carol, E.; Carretero, S.; Pousa, J.; Rizzetto, F; Teatini, P. 2013. Hydro-morphologic setting of the Samborombón Bay (Argentina) at the end of the 21st century. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 13, 523-534, DOI: 10.5194/NHESS-13-523-2013.
- Trebino, L. G. 1987. Geomorfología y evolución de la costa en los alrededores del pueblo de San Blas, provincia de Buenos Aires. *Asociación Geológica Argentina, Rev.*, XLII (1-2): 9-22.
- Troxler, T. G.; Coronado-Molina, C.; Rondeau, D. N.; Krupa, S.; Newman, S.; Manna, M., Price; R. M.; Sklar, F. H. 2014. Interactions of local climatic, biotic and hydrogeochemical processes facilitate phosphorus dynamics along an Everglades forest-marsh gradient, *Biogeosciences*, 11, 899-914.
- Turc, L. (1961). Evaluation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: A simple climatic formula evolved up to date. *Ann. Agron.* , 12, 13-49.
- Ursino, N.; Silvestri, S.; Marani, M. 2004. Subsurface flow and vegetation patterns in tidal environments. *Water Resources Research*, 40 (5), W05115. doi: 10.1029/2003WR002702.
- USDA-NRCS. 2006. Field Indicators of Hydric Soils in the United States, version 6.0. G. W. Hurt y L. M. Vasilas (Eds.). United States Department of Agriculture (USDA), Natural Resources Conservation Service (NRCS), en cooperación con el National Technical Committee for Hydric Soils.

- Usunoff, E.; Varni, M.; Weinzettel, P.; Rivas, R. 1999. Hidrogeología de grandes llanuras: La pampa húmeda argentina. *Boletín geológico y minero*, 110(4), 391–406.
- Valiela, I.; Teal, J. M.; Volkmann, S.; Shafer, D.; Carpenter, E. J. 1978. Nutrient and particulate fluxes in a salt marsh ecosystem: tidal exchanges and inputs by precipitation and groundwater. *Limnology and Oceanography*, 23(4), 798-812.
- Varnell, L. M.; Evans, D. A.; Havens, K. J. 2003. A geomorphological model of intertidal cove marshes with application to wetlands management. *Ecological Engineering*, 19(5), 339-347.
- Velázquez, G. Á.; Tisnés, A.; Gómez, N. J. 2014. Región pampeana: Geografía y bienestar según subregiones (2010). *Geograficando*, 2014, 10 (2). Disponible en: <https://www.geograficando.fahce.unlp.edu.ar/article/view/Geov10n02a09/html> 26.
- Velinsky, D. J.; Cutter, G. A. 1991. Geochemistry of selenium in a coastal salt marsh. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 55, pp. 179-191.
- Vepraskas, M. J.; Wildings, L. P.; Dress, L. R. 1994. Aquic conditions for soil taxonomy: concepts, soil morphology and micromorphology. En: *Soil micromorphology: studies in management and genesis, development in soil science*. Ringrose-Voace; Humphreys, G.S. (eds.). 22, Elsevier, Amsterdam, pp. 117–131.
- Watling, K. M.; Ahern, C. R.; Hey, K. M. 2004. Acid Sulfate Soil Field Ph Tests. En: *Acid Sulfate Soils Laboratory Methods Guidelines*. Ahern, C. R., McElnea, A. E., Sullivan, L. A. (eds). Queensland Department of Natural Resources, Mines and Energy, Indooroopilly, Queensland, Australia, pp. H1-4.
- Weiler, N. 1993. Niveles marinos del Pleistoceno Tardío y Holoceno en Bahía Anegada, provincia de Buenos Aires. *Geocronología y correlaciones*. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 48 (3-4): 207-216.
- Weiler, N. E. 2000. Evolución de los depósitos litorales en Bahía Anegada, provincia de Buenos Aires, durante el Cuaternario Tardío. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, 184 p.
- Wentworth, C. K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology* 27: 377-392.
- Wilson, A. M.; Morris, J. T. 2012. The influence of tidal forcing on groundwater flow and nutrient exchange in a salt marsh-dominated estuary. *Biogeochemistry* 108(1–3):27–38. doi:10. 1007/s10533-010-9570-y.
- Winter, T.C. 2001. The concept of hydrologic landscapes. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 37, 335–349.
- Witte, L. 1916. Estudios geológicos de la región de San Blas (partido de Patagones). Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires, Dirección de Geología y Minas, 97 pp. Buenos Aires.

- Xin, P.; Wilson, A.; Shen, C., Ge, Z.; Moffett, K. B.; Santos, I. R., ... Barry, D. A. 2022. Surface water and groundwater interactions in salt marshes and their impact on plant ecology and coastal biogeochemistry. *Reviews of Geophysics*, 60(1), e2021RG000740.
- Ydazskin, Y. L.; Bouza, P. J.; Marinho, C. H.; Gil, M. N. 2014. Trace metal concentrations in *Spartina densiflora* and associated soil from a Patagonian salt marsh. *Marine Pollution Bulletin* 89 (2014) 444–450. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.10.001>.
- Yrigoyen, M.R. 1975. Geología del subsuelo y plataforma continental. 6° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 139-168. Bahía Blanca.
- Yrigoyen, M. R. 1999. Los depósitos cretácicos y terciarios de las cuencas del Salado y del Colorado. En: Caminos, R. (Ed.), *Geología Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 29 (3): 41-96. Buenos Aires.
- Zaggia, L.; Zonta, R. 1997. Metal-sulphide formation in the contaminated anoxic sludge of the Venice canals. *Appl. Geochem.* 12: 527–536.
- Zalba, S. M.; Nebbia, A. J.; Fiori, S. M (compiladores). 2008. Propuesta de Plan de Manejo de la Reserva Natural de Usos Múltiples Bahía San Blas - 1a ed. - Bahía Blanca: Universidad Nacional del Sur.
- Zárate, M.A. y A. Blasi, 1993. Late Pleistocene-Holocene eolian deposits of the southern Buenos Aires province, Argentina: a preliminary model. *Quaternary International*, 17: 15-20.

A. ANEXO I: Muestras de suelos

Tabla A.1. Muestras de suelos y determinaciones pertenecientes a la transectas 1 y 2.

Muestras						Determinaciones							
Transecta	Campaña	Subgrupo	Perfil	Hz/tramo (cm)	Muestreo	Textura		Mineralogía		Otra determinación			
						Al tacto	Difractómetro	DRX	Microscopio	Mat. sulfídicos	Costras salinas		
Transecta 1	Diciembre de 2018	2	MSB-4	Ag	Calicata	X				X	X		
		1 y 2		Bg	Calicata	X	X	X		X			
		1		Cg	Calicata	X	X	X					
				R	Calicata	X							
		1		60-105	Perforación	X	X	X					
				105-110	Perforación	X							
		1		110-120	Perforación	X	X	X					
				A	Calicata	X							
		1		C	Calicata	X	X	X					
				2Bg	Calicata	X							
			3C	Calicata	X								
		1	80-110	Perforación	X	X	X						
			110-119	Perforación	X								
			119-129	Perforación	X								
			129-139	Perforación	X								
		1	139-160	Perforación	X	X	X						
			A	Calicata	X								
		1 y 2	Cg	Calicata	X	X	X			X			
			38-47	Perforación	X								
			47-71	Perforación	X								
			71-82	Perforación	X								
		1	82-95	Perforación	X	X	X						
			95-100	Perforación	X								
			100-120	Perforación	X								
		1	120-130	Perforación	X	X	X						
			140-160	Perforación	X								
			A	Calicata	X								
			C	Calicata	X								
		Transecta 2	Mayo de 2021	1	MSB-37	Az	Calicata	X	X		X		
						B	Calicata	X					
						C1	Calicata	X					
				1		Cg2	Calicata	X					
	71-84			Perforación		X	X		X				
	84-96			Perforación	X								
1	96+			Perforación	X	X		X					
1	Az			Calicata	X	X		X					
	B			Calicata	X								
	C1			Calicata	X								
1	2Cg2			Calicata	X	X		X					
	82-100			Perforación	X								
	100-119			Perforación	X								
1	C			Calicata	X	X		X					
	2Cg			Calicata	X								
1	31-61			Perforación	X	X		X					
1	61-87			Perforación	X	X		X					
	87-96			Perforación	X								
1	A			Calicata	X	X		X					
	2Cg			Calicata	X								
1	45-84			Perforación	X	X		X					

Tabla A.3. Muestras de suelos y determinaciones pertenecientes a la transectas 5 y 6.

Transecta	Campaña	Muestras				Determinaciones								
		Subgrupo	Perfil	Hz/tramo (cm)	Muestreo	Textura		Mineralogía		Otra determinación				
						Al tacto	Difractómetro	DRX	Microscopio	Mat. sulfídicos	Costras salinas			
Transecta 5	Diciembre de 2018	2	MSB-21	0-15	Perforación	X					X			
		1 y 2		15-30	Perforación	X	X	X			X			
		2		30-45	Perforación	X					X			
		2		40-60	Perforación	X					X			
		2		60-75	Perforación	X					X			
		2		75-90	Perforación	X					X			
		1 y 2		90-100	Perforación	X	X	X			X			
		2		100-110	Perforación	X					X			
				1	MSB-22	0-15	Perforación	X						
						15-25	Perforación	X						
						25-35	Perforación	X	X	X				
						35-46	Perforación	X						
						46-57	Perforación	X						
						57-70	Perforación	X						
				1	MSB-29	0-16	Perforación	X	X	X				
						16-29	Perforación	X						
				1		29-42	Perforación	X	X	X				
						42-57	Perforación	X						
						57-66	Perforación	X						
						66-75	Perforación	X						
						75-84	Perforación	X						
				1		84-93	Perforación	X	X	X				
						93-99	Perforación	X						
				1	MSB-30	0-15	Perforación	X	X	X			X	
						15-38	Perforación	X						
						38-62	Perforación	X						
						62-86	Perforación	X						
				1		86-100	Perforación	X	X	X				
			100-110	Perforación		X								
			110-125	Perforación		X								
		1	125-135	Perforación		X	X	X						
				135-145	Perforación	X								
Transecta 6	Mayo de 2021	1	MSB-43	C	Calicata	X	X		X					
				2C	Calicata	X								
				2Cg	Calicata	X								
		1		3Cg	Calicata	X	X		X					
		1	30-45	Perforación	X	X		X						
		1	Az	Calicata	X	X		X						
		1	2C	Calicata	X	X		X						
			3C	Calicata	X									
			61-71	Perforación	X									
			80-84	Perforación	X									
		1	84-90	Perforación	X	X		X						
		1	A	Calicata	X	X		X						
			B	Calicata	X									
			2Cg	Calicata	X									
		1	45-75	Perforación	X	X		X						
		1	75+	Perforación	X	X		X						
		1	A	Calicata	X	X		X						
			C	Calicata	X									
		1	10 a 15	Perforación	X	X		X						
			15-33	Perforación	X									
	33-40	Perforación	X											
	40-46	Perforación	X											

Tabla A.4. Muestras de suelos y determinaciones pertenecientes a la transectas 7 y 8.

Muestras					Determinaciones								
Transecta	Campaña	Subgrupo	Perfil	Hz/tramo (cm)	Muestreo	Textura		Mineralogía		Otra determinación			
						Al tacto	Difractómetro	DRX	Microscopio	Mat. sulfídicos	Costras salinas		
Transecta 7	Mayo de 2021	1	MSB-47	Az	Calicata	X				X			
				C	Calicata	X	X						
				2Cg	Calicata	X							
				1	33-50	Perforación	X	X			X		
				1	50-74	Perforación	X	X			X		
					74-95	Perforación	X						
			95-112	Perforación	X								
			1	Az	Calicata	X		X			X		
			1	C	Calicata	X							
			1	C2	Calicata	X	X				X		
			1	2Cg	Calicata	X							
			1	38-51	Perforación	X							
			1	51-72	Perforación	X							
			1	72-83	Perforación	X							
			1	Az	Calicata	X	X				X		
			1	Cg	Calicata	X							
			1	2Cg	Calicata	X	X				X		
			1	49-77	Perforación	X							
			1	A	Calicata	X		X			X		
			1	C	Calicata	X							
			1	19-31	Perforación	X							
			1	31-45	Perforación	X							
			1	45-55	Perforación	X	X				X		
			1	55-61	Perforación	X							
	1	61-64	Perforación	X									
Transecta 8	Mayo de 2021	1	MSB-51	Az	Calicata	X	X			X			
				C	Calicata	X							
				1	2C	Calicata	X						
				1	3Cg	Calicata	X	X				X	
				1	47-68	Perforación	X						
				1	68-87	Perforación	X						
			1	87-101	Perforación	X	X				X		
			1	Az	Calicata	X		X			X		
			1	2Ag	Calicata	X							
			1	2C	Calicata	X							
			1	2Cg	Calicata	X							
			1	35-46	Perforación	X							
			1	46-66	Perforación	X							
			1	66-83	Perforación	X	X				X		
			1	83-95	Perforación	X							
			1	Az	Calicata	X		X			X		
			1	C	Calicata	X							
			1	2C	Calicata	X							
			1	3Cg	Calicata	X							
			1	103-110	Perforación	X	X				X		
			1	Az	Calicata	X		X			X		
			1	C	Calicata	X							
			1	2C	Calicata	X							
			1	3C	Calicata	X							
	1	4Cg	Calicata	X	X				X				
	1	105-118	Perforación	X									

Tabla A.5. Muestras de suelos y determinaciones pertenecientes a la transectas CS y TCS.

Muestras					Determinaciones							
Transecta	Campaña	Subgrupo	Perfil	Hz/tramo (cm)	Muestreo	Textura		Mineralogía		Otra determinación		
						Al tacto	Difractómetro	DRX	Microscopio	Mat. sulfídicos	Costras salinas	
Transecta CS	Mayo de 2021	Tramo CSA		0-10 (CSA-1)	Superficial						X	
				0-10 (CSA-2)	Superficial						X	
				0-10 (CSA-3)	Superficial							X
				0-10 (CSA-4)	Superficial							X
				0-10 (CSA-5)	Superficial							X
				0-10 (CSA-6)	Superficial							X
				0-10 (CSA-7)	Superficial							X
				0-10 (CSA-8)	Superficial							X
		Tramo CSB		0-10 (CSB-1)	Superficial							X
				0-10 (CSB-2)	Superficial							X
				0-10 (CSB-3)	Superficial							X
				0-10 (CSB-4)	Superficial							X
				0-10 (CSB-5)	Superficial							X
				0-10 (CSB-6)	Superficial							X
		Tramo CSC		0-10 (CSC-1)	Superficial							X
				0-10 (CSC-2)	Superficial							X
	0-10 (CSC-3)		Superficial							X		
	0-10 (CSC-4)		Superficial							X		
Transecta TCS	Mayo de 2021			0-10 (TSC-1)	Superficial						X	
				0-10 (TSC-2)	Superficial						X	
				0-10 (TSC-3)	Superficial						X	
				0-10 (TSC-4)	Superficial						X	
				0-10 (TSC-5)	Superficial						X	
				0-10 (TSC-6)	Superficial						X	
				0-10 (TSC-7)	Superficial						X	
				0-10 (TSC-8)	Superficial						X	
				0-10 (TSC-9)	Superficial						X	
				0-10 (TSC-10)	Superficial						X	
				0-10 (TSC-11)	Superficial						X	
				0-10 (TSC-12)	Superficial						X	
				0-10 (TSC-13)	Superficial						X	
				0-10 (TSC-14)	Superficial						X	
				0-10 (TSC-15)	Superficial						X	
		0-10 (TSC-16)	Superficial						X			
		0-10 (TSC-17)	Superficial						X			
		0-10 (TSC-18)	Superficial						X			
		0-10 (TSC-19)	Superficial						X			
		0-10 (TSC-20)	Superficial						X			
		0-10 (TSC-21)	Superficial						X			

B. ANEXO II: Muestras de agua

Tabla B.1. Muestras de agua con principales parámetros físico-químicos y elementos mayoritarios determinados pertenecientes al muestreo de diciembre 2018.

Geoformas: Pca (Planicie continental alta), Pma (Planicie mareal antigua), Chg (Cordón holoceno gravoso), Cp (Cordón pleistoceno), Ma (Marisma alta), Mb (Marisma baja) y Cm (Canal de marea).

Campaña	Área	Geoforma	Muestra	Muestreo	CE (mS/cm)	pH	Mayoritarios (meq/L)									
							CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	NO ₃ ⁻	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Balance
Diciembre de 2018	Humedal y geoformas adyacentes	Pca	MSB-1	Molino	5,2	8,0	1,5	9,8	32,2	5,5	S/D	1,3	3,8	41,8	1,8	-0,3
		Pma	MSB-2	Molino	11,3	8,6	1,9	7,0	81,5	10,2	S/D	2,6	12,3	82,6	3,3	0,1
		Pca	MSB-3	Molino	15,9	8,0	1,4	7,1	138,6	16,8	S/D	4,6	27,1	169,6	4,6	11,4
		Mb	MSB-4	Freatímetro	58,8	7,3	0,6	4,1	630,9	60,8	0,1	50,9	125,8	474,1	17,4	-2,1
		Ma	MSB-5	Freatímetro	38,8	7,3	2,7	6,5	360,3	31,0	0,2	17,6	86,8	287,1	12,5	0,4
		Pca	MSB-6	Molino	16,9	7,2	2,1	2,0	169,8	14,2	0,0	58,8	49,4	113,1	3,8	9,0
		Pma	MSB-7	Molino	11,7	7,6	3,4	12,6	91,1	13,1	0,0	18,6	22,4	78,3	4,6	1,5
		Ma	MSB-10	Freatímetro	61,6	7,8	1,7	6,2	622,5	26,2	0,1	33,9	129,0	469,8	19,4	-0,4
		Mb	MSB-11	Freatímetro	58,5	7,8	0,3	1,9	594,3	29,1	0,1	50,9	137,9	452,4	19,4	2,7
		Ma	MSB-12	Freatímetro	61,5	7,4	1,1	3,7	603,7	32,1	0,1	45,2	133,1	443,7	18,7	0,0
		Mb	MSB-13	Freatímetro	65,9	7,5	0,6	3,6	674,6	35,7	0,0	63,3	134,2	508,9	19,7	0,8
		Cm	MSB-13 sup.	Superficial	57,2	8,5	0,9	2,1	567,5	53,2	0,0	32,8	132,1	452,4	16,6	0,8
		Ma	MSB-14	Freatímetro	98,3	7,5	1,0	2,8	1156,6	95,5	0,1	41,4	279,0	935,2	37,1	1,4
		Chg	MSB-15	Molino	1,3	8,0	1,2	5,5	5,9	0,1	0,0	1,7	2,4	7,0	0,6	-4,7
		Chg	MSB-16	Molino	1,2	7,7	1,3	4,1	5,9	0,5	0,0	3,8	1,9	6,9	0,4	5,3
		Chg	MSB-17	Molino	2,5	8,3	1,9	6,9	16,3	0,8	0,0	1,8	3,4	21,7	1,8	5,3
		Chg	MSB-18	Molino	5,1	7,7	1,9	10,6	32,3	3,9	0,0	4,2	8,9	34,8	2,4	1,7
		Mb	MSB-19	Freatímetro	55,8	7,8	1,6	5,4	541,7	45,5	0,1	79,1	112,3	400,2	12,8	0,8
		Cm	MSB-19 sup.	Superficial	55,0	8,4	0,7	1,8	511,6	48,8	0,1	52,0	99,8	404,5	12,3	0,5
		Mb	MSB-21	Freatímetro	26,8	7,1	0,8	6,8	242,4	27,8	0,1	11,8	75,6	139,2	6,9	-8,7
		Cm	MSB-21 sup.	Superficial	49,5	7,9	0,7	2,0	509,7	44,8	0,0	20,8	120,8	417,6	15,9	1,6
		Ma	MSB-22	Freatímetro	21,2	7,1	0,9	8,9	203,9	8,0	0,1	12,1	51,3	187,0	8,4	7,7
		Chg	MSB-23	Molino	3,0	8,8	1,6	7,8	15,3	0,6	0,0	0,0	1,1	27,8	0,9	8,1
		Ma	MSB-24	Freatímetro	84,3	8,0	2,3	2,9	936,8	75,8	0,1	128,8	176,8	870,0	38,4	8,8
		Mb	MSB-25	Freatímetro	85,8	7,5	2,1	2,8	840,0	66,3	0,0	33,9	194,5	687,3	31,2	1,9
		Cp	MSB-26	Molino	16,6	7,6	0,0	9,2	100,7	3,4	0,0	8,7	22,9	91,3	4,6	5,6
		Cp	MSB-27	Molino	37,5	7,9	0,0	12,4	23,3	0,7	0,0	0,1	7,0	33,1	1,2	3,8
		Cp	MSB-28	Molino	13,7	7,6	0,0	9,8	105,1	6,5	0,0	6,0	26,5	95,7	5,4	4,6
		Ma	MSB-29	Freatímetro	86,1	7,4	0,7	4,3	1039,2	71,4	0,1	124,3	183,0	956,9	40,9	7,8
		Ma	MSB-30	Freatímetro	99,5	7,4	1,8	3,9	1110,6	78,7	0,1	126,6	245,4	935,2	42,2	6,1
		Cm	MSB-30 sup.	Superficial	71,6	8,7	1,8	2,0	828,7	96,9	0,1	79,1	163,3	641,6	23,0	-1,2
		Chg	CSB-1	Molino	8,0	7,7	0,0	5,0	59,4	2,3	S/D	3,2	13,1	60,9	3,6	9,6
		Chg	CSB-6A	Molino	1,4	8,2	2,6	3,4	7,4	0,3	S/D	0,8	1,7	13,0	0,4	7,3
Chg	CSB-19	Molino	0,8	7,5	0,0	4,0	3,8	0,2	S/D	2,1	1,8	4,4	0,2	0,6		
Chg	CSB-22	Molino	2,3	7,1	0,0	5,7	12,7	0,5	S/D	9,5	5,3	6,5	0,3	-2,4		
Chg	CSB-29	Molino	1,7	9,5	1,2	7,6	8,6	0,3	S/D	0,9	4,2	12,2	1,4	0,4		
Chg	CSB-33	Molino	0,8	7,7	0,0	4,9	3,1	0,3	S/D	2,1	5,2	0,3	6,1	-5,21		

Tabla B.2. Muestras de agua con valores de isótopos y nutrientes determinados pertenecientes al muestreo de diciembre 2018.

Geoformas: Pca (Planicie continental alta), Pma (Planicie mareal antigua), Chg (Cordón holoceno gravoso), Cp (Cordón pleistoceno), Ma (Marisma alta), Mb (Marisma baja) y Cm (Canal de marea).

S/D: sin determinar.

Campaña	Área	Geoforma	Muestra	Muestreo	Isótopos		Nutrientes (mg/L)		
					$\delta^{18}\text{O} \text{‰}$	$\delta^2\text{H} \text{‰}$	NO_3^-	PO_4^{3-}	SiO_2 reactiva soluble
Diciembre de 2018	Humedal y geoformas adyacentes	Pca	MSB-1	Molino	-5,51	-34,30	S/D	1,05	S/D
		Pma	MSB-2	Molino	-4,89	-32,99	S/D	1,82	S/D
		Pca	MSB-3	Molino	S/D	S/D	S/D	0,41	S/D
		Mb	MSB-4	Freatímetro	S/D	S/D	4,93	0,03	8,81
		Ma	MSB-5	Freatímetro	-2,97	-21,55	9,17	0,49	11,33
		Pca	MSB-6	Molino	-4,73	-32,02	41,29	0,21	15,21
		Pma	MSB-7	Molino	S/D	S/D	99,25	2,24	19,01
		Ma	MSB-10	Freatímetro	-3,33	-25,20	6,63	0,07	23,05
		Mb	MSB-11	Freatímetro	-0,40	-5,96	6,30	0,17	1,34
		Ma	MSB-12	Freatímetro	S/D	S/D	3,11	0,10	20,16
		Mb	MSB-13	Freatímetro	0,14	-2,68	2,92	0,18	16,59
		Cm	MSB-13 sup.	Superficial	0,53	-0,01	2,40	0,21	7,72
		Ma	MSB-14	Freatímetro	0,10	-6,53	5,05	0,15	13,44
		Chg	MSB-15	Molino	S/D	S/D	8,44	0,21	8,33
		Chg	MSB-16	Molino	S/D	S/D	19,97	0,06	0,40
		Chg	MSB-17	Molino	S/D	S/D	6,26	0,22	9,58
		Chg	MSB-18	Molino	S/D	S/D	18,22	0,53	33,76
		Mb	MSB-19	Freatímetro	-0,38	-5,28	3,15	0,38	31,37
		Cm	MSB-19 sup.	Superficial	-0,12	-3,41	3,51	0,34	4,61
		Mb	MSB-21	Freatímetro	S/D	S/D	4,19	1,73	20,50
		Cm	MSB-21 sup.	Superficial	S/D	S/D	2,16	0,22	22,60
		Ma	MSB-22	Freatímetro	S/D	S/D	8,25	0,06	0,69
		Chg	MSB-23	Molino	S/D	S/D	6,02	0,30	14,21
		Ma	MSB-24	Freatímetro	S/D	S/D	5,54	0,05	0,62
		Mb	MSB-25	Freatímetro	S/D	S/D	2,58	0,16	17,39
		Cp	MSB-26	Molino	S/D	S/D	45,82	1,33	38,18
		Cp	MSB-27	Molino	S/D	S/D	113,94	0,11	17,07
		Cp	MSB-28	Molino	S/D	S/D	32,11	0,08	9,39
		Ma	MSB-29	Freatímetro	-1,40	-16,08	6,00	1,82	35,42
		Ma	MSB-30	Freatímetro	-1,81	-18,89	7,02	9,36	28,54
		Cm	MSB-30 sup.	Superficial	1,36	4,37	4,60	2,11	11,41
		Chg	CSB-1	Molino	-4,80	-31,68	S/D	0,53	14,29
		Chg	CSB-6A	Molino	S/D	S/D	S/D	0,99	15,20
Chg	CSB-19	Molino	-5,60	-36,93	S/D	0,16	1,70		
Chg	CSB-22	Molino	-5,44	-37,39	S/D	S/D	S/D		
Chg	CSB-29	Molino	-5,32	-35,78	S/D	S/D	S/D		
Chg	CSB-33	Molino	-35,50	S/D	S/D	S/D	S/D		

Tabla B.3. Muestras de agua con principales parámetros físico-químicos y elementos mayoritarios determinados pertenecientes al muestreo de mayo 2021.

Geoformas: Pca (Planicie continental alta), Pma (Planicie mareal antigua), Chg (Cordón holoceno gravoso), Cp (Cordón pleistoceno), Ma (Marisma alta), Mb (Marisma baja) y Cm (Canal de marea).

S/D: sin determinar.

Campaña	Área	Geoforma	Muestra	Muestreo	CE (mS/cm)	pH	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	NO ₃ ⁻	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Balance
Mayo de 2021	Humedal - Canal Jabalí	Mb	MSB-4	Freatímetro	66,2	7,0	0,3	2,9	787,5	67,7	0,0	25,9	160,1	690,5	26,2	1,7
		Ma	MSB-5	Freatímetro	47,0	7,8	2,6	6,7	557,5	25,6	0,0	18,1	105,2	478,5	19,8	3,7
		Ma	MSB-10	Freatímetro	55,8	7,9	2,2	5,7	640,0	53,3	0,0	21,2	115,0	522,0	23,7	3,1
		Mb	MSB-11	Freatímetro	82,0	7,8	0,8	5,3	965,0	88,6	0,0	41,8	219,1	837,3	34,5	6,8
		Ma	MSB-12	Freatímetro	73,0	6,9	2,2	2,2	855,0	38,5	0,0	33,1	200,8	761,2	26,9	3,0
		Mb	MSB-13	Freatímetro	73,3	7,4	1,7	2,9	1055,0	40,4	0,0	31,3	221,9	870,0	32,6	-1,2
		Cm	MSB-13 sup.	Superficial	88,5	8,5	0,9	2,0	1125,0	94,6	0,0	35,6	294,1	897,1	40,3	4,5
		Ma	MSB-14	Freatímetro	94,7	7,6	0,8	3,1	1310,0	96,8	0,0	35,9	328,7	935,2	0,6	0,4
		Mb	MSB-19	Freatímetro	54,6	7,9	1,2	3,5	712,5	59,6	0,0	26,6	204,7	570,9	23,0	2,1
		Cm	MSB-19 sup.	Superficial	52,6	8,4	1,2	1,5	635,0	28,5	0,0	18,5	137,6	445,9	21,1	1,5
		Mb	MSB-21	Freatímetro	35,1	7,6	1,8	5,3	482,5	32,9	0,0	13,2	172,8	369,7	14,1	3,3
		Cm	MSB-21 sup.	Superficial	50,4	9,0	0,9	2,0	807,5	52,0	0,0	23,9	167,8	715,0	25,6	4,1
		Ma	MSB-22	Freatímetro	26,1	7,8	3,2	7,0	422,5	45,7	0,0	15,7	147,7	261,0	10,7	3,9
		Ma	MSB-24	Freatímetro	87,1	7,9	0,9	1,7	1220,0	72,1	0,0	42,2	243,2	815,6	37,1	-1,6
		Mb	MSB-25	Freatímetro	78,8	7,4	2,4	2,0	1035,0	59,3	0,0	29,7	198,2	717,7	38,4	-0,4
		Ma	MSB-29	Freatímetro	97,8	7,9	3,6	0,7	1205,0	75,0	0,1	41,2	282,1	1043,9	40,3	1,1
		Ma	MSB-30	Freatímetro	102,5	7,7	0,8	5,3	1745,0	107,9	S/D	51,8	442,0	1326,7	51,2	4,4
		Cm	MSB-30 sup.	Superficial	64,5	8,6	1,0	2,3	852,5	45,8	0,0	30,3	169,3	652,5	28,8	2,0
		Ma	MSB-37	Freatímetro	84,6	7,8	1,3	3,4	1127,5	86,3	0,0	38,4	292,1	815,6	35,8	-3,1
		Mb	MSB-38	Freatímetro	59,5	8,2	1,5	3,5	780,0	30,9	0,0	31,6	244,5	565,5	23,0	6,8
		Mb	MSB-39	Freatímetro	76,2	7,5	1,2	2,4	1060,0	89,8	0,0	32,6	332,2	831,9	30,7	5,2
		Cm	MSB-39 sup.	Superficial	52,5	8,3	0,5	2,2	695,0	57,4	0,0	25,7	259,2	560,0	19,2	5,2
		Ma	MSB-40	Freatímetro	63,5	7,8	1,3	5,4	882,5	64,6	0,0	47,6	236,3	674,2	24,3	-5,4
		Mb	MSB-41	Freatímetro	90,0	8,0	1,6	2,4	1210,0	65,6	0,0	40,0	231,7	837,2	31,3	-0,2
		Ma	MSB-42	Freatímetro	82,0	8,0	1,4	1,7	1055,0	60,3	0,0	31,5	237,8	826,5	26,9	-1,1
		Mb	MSB-43	Freatímetro	85,8	7,7	4,6	2,4	1275,0	67,1	0,1	47,6	235,3	957,0	30,7	-2,6
		Ma	MSB-44	Freatímetro	70,7	8,8	7,5	7,8	1005,0	36,5	0,0	13,2	192,4	826,5	23,7	-0,2
		Ma	MSB-45	Freatímetro	23,5	7,9	0,0	2,0	290,0	16,0	0,0	12,5	127,0	217,5	3,8	-7,1
		Mb	MSB-46	Freatímetro	48,0	7,8	0,5	4,8	605,0	50,3	0,0	33,4	177,4	478,5	17,9	3,4
		Cm	MSB-46 sup.	Superficial	64,3	8,5	1,1	2,6	732,5	68,9	0,0	40,5	237,6	554,6	26,9	3,3
		Ma	MSB-47	Freatímetro	83,0	7,6	1,9	5,9	1105,0	83,1	0,0	32,4	285,9	821,0	39,6	0,4
		Mb	MSB-48	Freatímetro	114,8	7,8	0,5	4,5	1930,0	147,7	0,0	58,5	411,6	1522,4	65,2	4,0
		Mb	MSB-49	Freatímetro	70,0	7,5	1,3	5,2	875,0	64,1	0,0	29,9	255,0	636,2	27,5	6,7
Cm	MSB-49 sup.	Superficial	77,1	8,7	1,3	2,4	1017,5	90,8	0,0	51,6	315,4	750,3	36,4	1,8		
Ma	MSB-50	Freatímetro	57,9	8,0	1,3	5,4	890,0	33,9	0,0	52,3	275,1	565,5	26,2	-0,6		
Ma	MSB-51	Freatímetro	52,0	8,2	3,2	6,6	692,5	45,2	0,0	25,4	319,0	543,7	24,9	8,0		
Mb	MSB-52	Freatímetro	89,4	7,9	1,4	5,2	1355,0	95,8	0,0	57,5	452,9	902,6	34,5	-5,0		
Mb	MSB-53	Freatímetro	133,5	7,8	1,3	1,3	2405,0	172,4	0,0	58,8	485,6	1783,4	98,5	9,6		
Ma	MSB-54	Freatímetro	70,4	7,9	1,5	5,0	880,0	80,3	0,0	41,8	302,5	619,8	25,6	3,8		
Cm	MSB-55 sup.	Superficial	48,4	8,5	0,9	2,3	580,0	54,4	0,0	28,4	196,5	456,7	15,3	4,4		
Mar	MSB-PS sup.	Superficial	62,3	9,0	0,8	1,8	867,5	70,8	0,0	23,2	282,9	603,5	21,7	-3,8		