

GEOLOGÍA Y DINÁMICA COSTERA DEL PARTIDO DE MAGDALENA, PROVINCIA DE BUENOS AIRES



Trabajo Final de Licenciatura
Juan Leandro Alvarez Assat
Directora: Dra. María Paula Bunicontro
Co-Director: Dr. Rubén Álvaro López

2024

RESUMEN

Este Trabajo Final de Licenciatura se centra en un estudio geomorfológico y morfo-sedimentario de la zona costera adyacente a las localidades de Atalaya, Magdalena y la Reserva El Destino, ubicadas en el partido de Magdalena, provincia de Buenos Aires. Esta franja costera se encuentra en interacción con las aguas del estuario del Río de la Plata, ubicándose en el sector del estuario medio, en donde se verifica la influencia conjunta de los procesos fluviales y marinos en la sedimentación y el modelado geomorfológico actual.

El objetivo de este trabajo es obtener una caracterización detallada de la zona que abarque sus rasgos geomorfológicos y estratigráficos, la granulometría y petrografía de los sedimentos costeros, la configuración de los sectores de playa y la evolución de su línea de costa. A partir de ellos se pretende a su vez generar una serie de recomendaciones, tanto para la preservación de la playa como para el cuidado de la biota que la habita y la mejora del uso por parte de los habitantes de las localidades aledañas.

La estratigrafía del sector fue detallada en base a la amplia descripción que otros autores han hecho de la misma, complementando esta información con el relevamiento de un perfil tomado dentro de la Reserva Natural El Destino. En este perfil fue posible la observación de los sedimentos finos y restos de origen vegetal y antrópico que componen a la Formación Río Santiago.

Se realizó un análisis geomorfológico en el cual se identificaron unidades previamente descritas por otros autores. Se describieron los sectores de planicie de marea ascendida, en donde se extienden una serie de cursos efímeros y bajos inundables; la terraza de acumulación marina, caracterizada por la presencia de dos conjuntos de cordones litorales formados en episodios transgresivos durante el Holoceno; la planicie estuárica, un sector con abundante vegetación y tendencia al anegamiento, compuesto principalmente por material fangoso; y el sector de playa propiamente dicho, en donde se desarrollan alternadamente una serie de barras arenosas y canales en sentido longitudinal a la costa.

La mayor parte de las tareas realizadas para este trabajo se desarrolló en el sector de playa, en donde se realizaron perfiles topográficos y se recolectaron muestras de

sedimentos para su análisis granulométrico y petrográfico. Se confeccionaron cuatro perfiles topográficos de playa, mostrando la distribución de los subambientes y de las geoformas que los componen en cada sector. Dos de ellos fueron realizados cerca de la localidad de Atalaya (At y BAt), uno en el balneario de la localidad de Magdalena (M) y otro dentro de la Reserva El Destino (ED), ubicada dentro del Parque Costero del Sur.

El estudio de las fracciones modales de las muestras obtenidas permitió observar que los sedimentos que componen a las playas son en su mayoría arenosos, con un claro predominio de arenas finas a muy finas, clasificándose petrográficamente como arenas líticas y arenas lito-feldespáticas, con un marcado predominio de clastos de composición lítica de origen volcánico.

El estudio de la movilidad de la línea de costa se realizó mediante el análisis de fotografías aéreas históricas e imágenes satelitales. Se identificaron sectores de movilidad reducida, con variaciones inferiores a 1 m en un período de 10 años, mientras que otros registraban variaciones de hasta 30 m en el mismo lapso de tiempo. En base a las tasas de movilidad de la línea de costa de los últimos 10 años, se realizó una zonificación del área de estudio en la cual se espera reflejar la dinámica actual. El análisis histórico de los movimientos de la línea de costa permite observar un comportamiento muy variable, con transiciones entre periodos progradantes y erosivos en pocos años, y muchas veces presentándose ambas dinámicas simultáneamente en distintos sectores. En función de los resultados se ha visto que gran movilidad en la posición de la línea de costa durante los últimos años da cuenta de una importante influencia de los procesos geomorfológicos e hidrodinámicos en esta zona costera

Por último, en este trabajo se proponen una serie de medidas de manejo costero con el fin de minimizar los efectos de la intervención antrópica en la dinámica de la costa. De esta manera se contribuye a la preservación de los espacios de recreación, las edificaciones en las inmediaciones de la costa y de la biota en zonas protegidas.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	
1.2 Caracterización de la zona de estudio	
1.2.1 Ubicación y contexto geomorfológico regional	
1.2.2 Población y economía local	
1.2.3 Clima	
1.2.4 Hidrodinámica costera	
1.2.5 Suelos	
1.2.6 Hidrología e hidrogeología	
1.2.7 Biodiversidad y sitios protegidos	
 CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA	 20
 CAPÍTULO 3: ESTRATIGRAFÍA	 24
3.1 Marco estratigráfico regional	
3.2 Marco estratigráfico local	
3.3 Perfil Estratigráfico - Reserva El Destino	
 CAPÍTULO 4: GEOMORFOLOGÍA	 32
4.1 Dinámica estuarial	
4.2 Proceso marino	
4.3 Proceso fluvial	
4.4 Evolución geomorfológica regional	
 CAPÍTULO 5: MORFOMETRÍA DE PLAYA.....	 44
5.1 Análisis de perfiles topográficos	
5.1.1 Perfil 1: Atalaya	
5.1.2 Perfil 2: Bosque Atalaya	
5.1.3 Perfil 3: Magdalena	
5.1.4 Perfil 4: El Destino	
5.2 Interpretación	

CAPÍTULO 6: ANÁLISIS TEXTURAL DE LOS SEDIMENTOS	56
6.1 Perfil 1: Atalaya	
6.2 Perfil 2: Bosque Atalaya	
6.3 Perfil 3: Magdalena	
6.4 Perfil 4: El Destino	
6.5 Resumen de parámetros	
6.6 Clasificación textural	
6.7 Interpretación	
 CAPÍTULO 7: PETROGRAFÍA	 68
7.1 Descripción microscópica de los sedimentos	
7.2 Clasificación de las muestras	
7.3 Interpretación	
 CAPÍTULO 8: EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA	 75
8.1 Resultados	
8.1.1 Sector Norte	
8.1.2 Sector Central	
8.1.3 Sector sur	
8.2 Interpretación	
 CAPÍTULO 9: MANEJO COSTERO	 95
 CAPÍTULO 10: CONCLUSIONES	 99
 AGRADECIMIENTOS	 102
 BIBLIOGRAFÍA	 103
 ANEXO: MAPA GEOMORFOLÓGICO	 115

1. INTRODUCCIÓN

Las zonas costeras representan uno de los ambientes más dinámicos y sensibles del mundo debido no solo a la gran variedad de procesos naturales involucrados en su desarrollo y evolución (biológicos, climáticos, geológicos y geomorfológicos, oceanográficos, entre otros) sino también a las grandes aglomeraciones urbanas que se desarrollan sobre ellas. En Argentina, la mayor parte de la población del país se asienta sobre áreas costeras, a su vez que son sitios de preferencia para el uso turístico, y por esta causa es importante tener en cuenta y conocer en qué medida el crecimiento urbano afecta las variables naturales que regulan los sistemas litorales. Si bien, dicho crecimiento es de gran importancia para el desarrollo económico del país, la explotación de recursos costeros de manera no planificada ha derivado en serios problemas ambientales tales como la erosión costera, contaminación, degradación de dunas, pérdida de playa, inundaciones, y deterioro del ambiente en general, entre otros, en distintos sitios. Es por ello por lo que el estudio de los ambientes costeros es necesario para comprender la dinámica natural de estos sistemas y su relación con los procesos que los forman y actúan sobre ellos a lo largo del tiempo, para reconocer así los posibles impactos ambientales y lograr un uso planificado de los recursos.

El objetivo general de este trabajo es realizar un análisis geológico y geomorfológico de la zona costera del partido de Magdalena, provincia de Buenos Aires, con el fin de caracterizar la dinámica y morfología de este sector del estuario medio del Río de la Plata para proponer medidas de conservación y manejo costero de los recursos. Dentro de los objetivos específicos, se pretende realizar una descripción de los rasgos geomorfológicos más conspicuos, los cuales serán representados en un mapa de detalle. Respecto a la evolución del paisaje, se analizarán mediante el uso de fotografías aéreas históricas e imágenes satelitales los cambios morfológicos de las últimas décadas, así como la movilidad de la línea de costa. Las características de la línea de costa y las playas serán estudiadas mediante perfiles topográficos transversales a partir de los cuales se realizarán los análisis morfométricos y sedimentológicos (textural y composicional) de las playas. Se pretende también generar mapas de zonificación costera con relación al comportamiento dinámico de la línea de costa en los últimos años para, finalmente, proponer una serie de recomendaciones para la preservación de los recursos naturales de la zona.

1.1 Antecedentes

La provincia de Buenos Aires constituye uno de los sectores más tempranamente estudiados del territorio argentino. Las primeras descripciones realizadas en la zona se remontan a observaciones realizadas por naturalistas clásicos como Darwin y Sowerby (1846) y d'Orbigny (1842). Los primeros intentos de subdividir al territorio argentino desde un enfoque integral, teniendo en cuenta en caracteres morfoestructurales, fueron realizados Ameghino (1880, 1889), Keidel, (1925), Kuhn (1922) y Frenguelli (1946, 1950). Más adelante, estudios de carácter regional en los que se adentra en los rasgos estructurales y las características de las cuencas sedimentarias de Buenos Aires, fueron propuestos en los trabajos de Stappenbeck (1926), Zambrano (1974), Yrigoyen (1975, 1999), Introcaso y Ramos (1984), y más recientemente Rossello et al. (2018).

Las sucesiones estratigráficas que componen los sedimentos en la zona fueron definidas en distintos sectores de la provincia, en los trabajos de Ameghino (1889), Frenguelli (1950, 1957), Pascual et al. (1965) González Bonorino (1965), Riggi et al. (1986), Fidalgo et al. (1973 a, b), Parker (1990) y Cavallotto (1995). Un reordenamiento de las unidades estratigráficas fue propuesto luego por Fucks et al. (2010). Más tarde, el trabajo de Gómez Samus et al. (2020) proporcionó dataciones paleomagnéticas en las formaciones definidas previamente.

La geomorfología y la geología del Cuaternario en Buenos Aires han sido descritas en los trabajos de Frenguelli (1950), Tricart (1973), Fidalgo et al. (1973 a y b), Zárate y Rabassa (2005), Zárate (2005), Schnack et al. (2005), Fucks et al. (2017), Parker et al. (2008), Violante et al. (2008), Violante et al. (2001), Cavallotto (1995, 2002) y Cavallotto y Violante (2005), Cavallotto et al. (2020) y Pereyra y Tobio (2018).

Los sectores costeros y deltaicos fueron estudiados por numerosos autores entre los que destacan Parker et al. (1987), Parker y Violante (1993), Cavallotto y Violante (2005), López y Marcomini (2011), Codignotto y Aguirre (2004), Violante et al. (2008), Fossati et al. (2014). Las medidas de manejo costero mencionadas en el capítulo 9 están basadas en lo propuesto en el libro “Erosión y Manejo Costero de Marcomini y López (2014).

Entre los estudios enfocados en las características hidrodinámicas del estuario del Río de la Plata destacan los trabajos de Boschi (1988) y Glorioso y Boschi (1982), Guerrero et al. (1997 a, b), Acha et al. (2008) y Moreira y Simionato (2019), Seluchi

(1995), Seluchi y Saulo (1996), Vera et al. (2002), Escobar et al. (2004), Cellone y Tosi (2016), Sarubi y Menendez (2007) y Violante et al. (2008).

La hidrogeología fue estudiada por Sala (1975), Hernández (1975), Auge y Hernández (2002), Santa Cruz (1993), Auge et al. (2006), Cellone et al. (2019), Amato y Silva Busso (2005, 2006, 2009).

Como antecedentes específicos de la zona de estudio pueden nombrarse los trabajos de Melo et al. (2013) y Melo (2019), en donde se describen en detalle las características hidrológicas e hidrogeológicas del sector costero de Atalaya. El trabajo de D'Amico (2019) provee un estudio completo de la dinámica litoral en ese mismo sector. La tesis doctoral de Varela (2020) analiza la calidad de las aguas subterráneas en el partido de Magdalena. El libro "Parque Costero del Sur" (Athor, 2009) provee amplia información sobre los ecosistemas desarrollados en dicho sector. Recientemente el trabajo final de licenciatura de Buniconro (2023) proporciona una descripción de la geomorfología, los modelos de playa y las características morfo-sedimentarias de la costa en el sector inmediatamente al sur de la zona de estudio de este trabajo.

1.2 Caracterización de la zona de estudio

1.2.1 Ubicación y contexto geomorfológico regional

La zona de estudio se encuentra en el margen occidental del estuario medio del Río de la Plata, en el noreste de la provincia de Buenos Aires, dentro del partido de Magdalena entre los 35°00'06"S, 57°32'11"O y los 35°14'03"S 57°19'15"O. Se extiende desde la localidad de Atalaya hasta el límite con el partido de Punta Indio, abarcando un área de 33,5 km de largo y 4,8 km de ancho (Fig. 1.1).

Regionalmente, este sector se encuentra inmediatamente al norte de la cuenca del Salado y de la Bahía de Samborombón, en una zona transicional entre las regiones conocidas como Pampa Ondulada y Pampa Deprimida (Frenguelli, 1956). Desde un punto de vista geomorfológico, la zona presenta un paisaje modelado principalmente por procesos marinos asociados a eventos transgresivos y regresivos que se dieron durante el Holoceno, mientras que, actualmente se encuentra principalmente bajo la influencia de la dinámica propia del estuario. Pueden distinguirse cuatro unidades (explicadas con mayor detalle en el Capítulo 4) que se suceden en dirección

este-oeste. En el límite occidental, por fuera del área de estudio, se desarrolla la llanura loésica (también denominada llanura o terraza alta por Cavallotto, 2002 y Cavallotto et al., 2020), compuesta por depósitos loésicos pre-holocenos. Al este de dicha llanura, se desarrollan la planicie de marea ascendida, un sector con tendencia al anegamiento que se compone por antiguos canales de marea y cursos efímeros; y las terrazas de acumulación marina compuestas por cordones litorales, una serie de morfologías subparalelas correspondientes a depósitos transgresivos-regresivos del Holoceno. Hacia el sector oriental de la zona de estudio, limitando con las aguas del estuario medio del Río de la Plata, se encuentra la planicie estuárica, constituida por sedimentos limo arcillosos y cubierta de una densa vegetación. Por último, en el extremo oriental se desarrolla el sector de playa, compuesto por los sedimentos arenosos que son transportados por la dinámica actual del estuario; estos conforman geoformas típicas como por ejemplo barras de lavado y canales de marea.

La hidrología de la zona se caracteriza por una serie de cursos efímeros y permanentes que atraviesan el sector transversalmente a la línea de costa, en sentido oeste-este. Los principales cursos permanentes son el arroyo Buriñigo, con desembocadura en el balneario municipal de Atalaya, y los arroyos Juan Blanco y Primera Estancia, cuya desembocadura se ubica entre la localidad de Magdalena y la Reserva Natural El Destino.

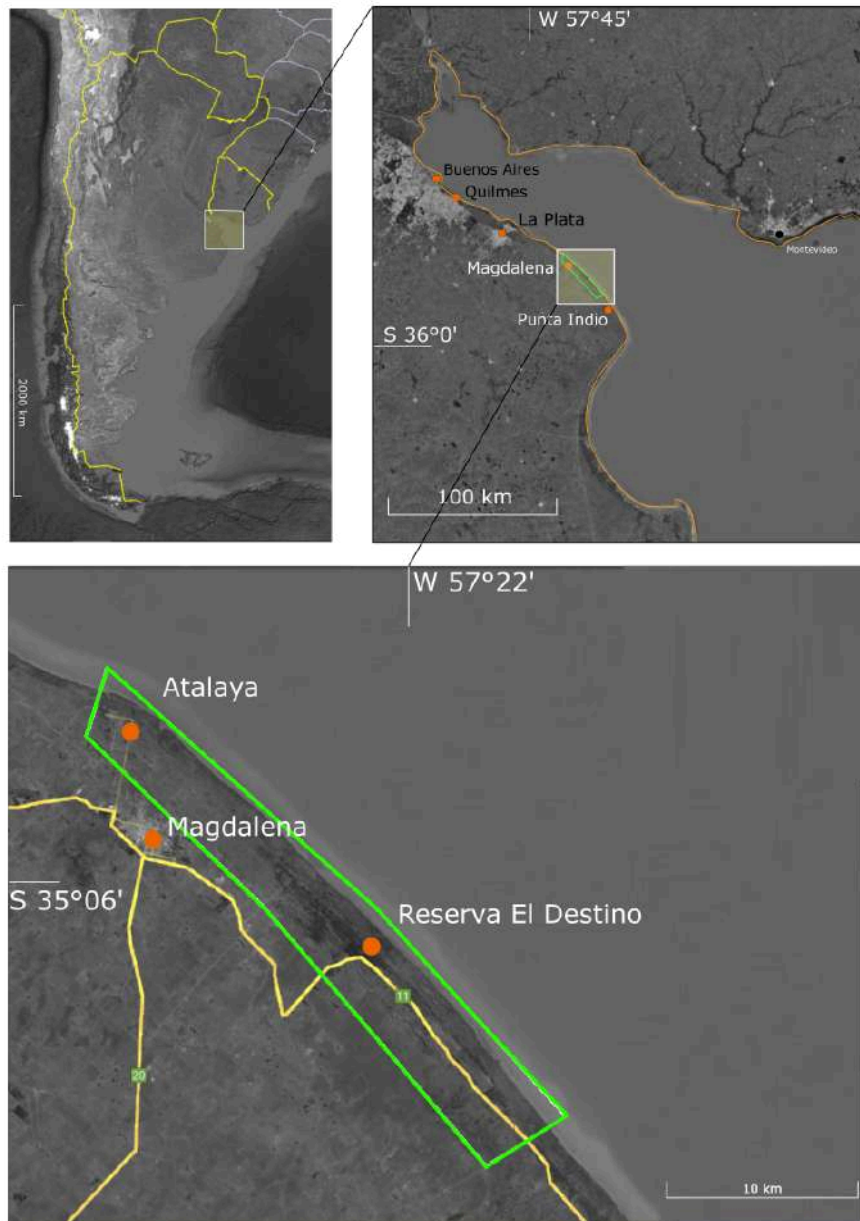


Figura 1.1. Ubicación de la zona de estudio, se indican también las localidades de Atalaya, Magdalena y la Reserva El Destino.

1.2.2 Población y economía local

La ciudad de Magdalena es la cabecera del partido de Magdalena, en la provincia de Buenos Aires. Se ubica 50 km al sureste de la ciudad de La Plata y se accede a ella a través de la Ruta Provincial interbalnearia N°11 desde el norte y el sur, y desde el suroeste por la Ruta Provincial N°20. Magdalena cuenta con una población de 26734 habitantes (Indec, 2022).

A nivel económico, la producción agropecuaria representa la principal actividad, incluyendo trabajos realizados en tambos, curtiembres, y otros establecimientos ganaderos. De igual relevancia son los puestos de trabajo en el sector industrial, que incluye a las plantas de productos alimenticios de Nestlé y Vacalin y las plantas vinculadas al rubro de la construcción como la planta metalúrgica de Tormecan o la de hormigón industrializado SHAP. Los cuatro establecimientos penitenciarios que se ubican en las cercanías de la localidad también son de importancia ya que en ellos se desarrollan una variedad de puestos de trabajo.

En cuanto a los servicios básicos, el abastecimiento eléctrico es provisto por la empresa Edelap, mientras que ABSA se encuentra a cargo del agua corriente. Esta es obtenida del acuífero subterráneo Puelches, de donde proviene tanto el agua potable como la utilizada para los procesos industriales y para el abrevado animal y la limpieza en los establecimientos ganaderos (Varela, 2020).

Unos 8 km al norte de Magdalena, se ubica Atalaya, un poblado pequeño ubicado sobre la planicie estuárica, que en sus inicios surgió como una guardia militar y se estableció como puerto fijo a partir del siglo XVIII, desarrollándose su población alrededor de este. Cuenta con una población reducida, de 720 habitantes (INDEC, 2010), lo cual lo convierte en un lugar de interés turístico, dotado de campings y un club de yates. La localidad no cuenta con servicio de agua potable, problema que es solucionado transitoriamente mediante la distribución gratuita de bidones de agua envasada entre los vecinos.

El partido de Magdalena es también un destino turístico que, en temporada estival, recibe visitantes principalmente de los partidos vecinos y localidades cercanas como las ciudades de Buenos Aires y La Plata. Los principales atractivos son: el Circuito de los Pueblos y los Campos, el Circuito de Playas, el Circuito del Parque Costanero Sur y la Reserva Natural "El Destino". La ciudad cuenta con un balneario en el cual se practican diversas actividades recreativas como pesca, *kitesurf* y *windsurf*; las cuales se realizan principalmente en temporada estival.

1.2.3 Clima

La zona presenta un clima templado y húmedo. Según los valores obtenidos de la estación meteorológica Punta Indio (BA) del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para el periodo comprendido entre los años 1981 y 2010 (Fig. 1.2), las temperaturas medias oscilan entre máximas de 28°C y mínimas de 5°C, mientras que los valores extremos absolutos han llegado a registrar máximas de 39°C y mínimas de -7.5°C.

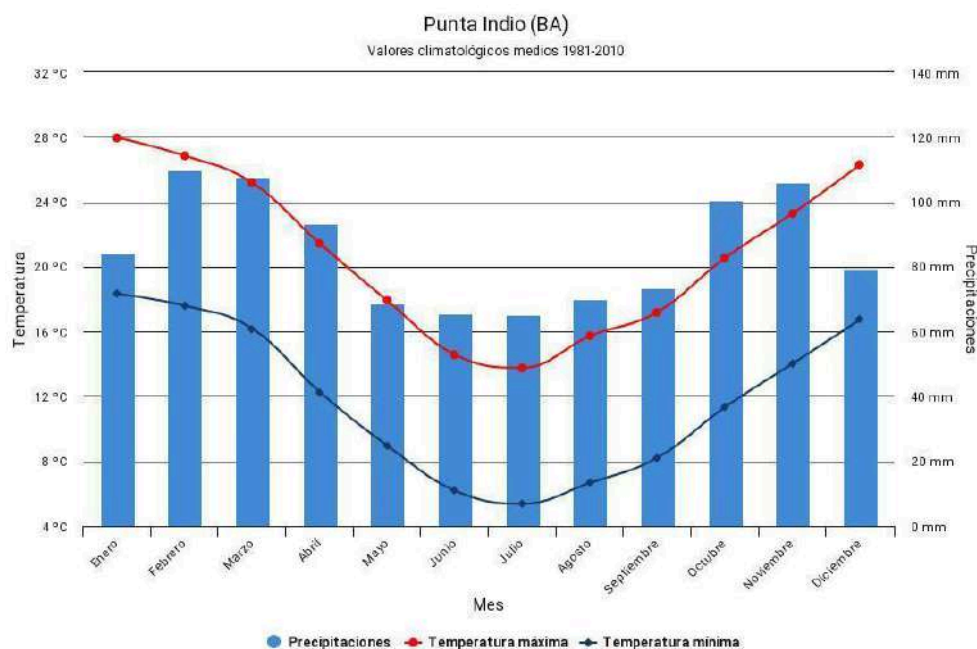


Figura 1.2. Valores climatológicos medios. Precipitaciones, temperaturas medias máximas y mínimas. Datos del Servicio Meteorológico Nacional, estación Punta Indio (BA). Serie de datos 1981-2010.

Al igual que en el resto de la provincia de Buenos Aires, las precipitaciones tienden a ser elevadas. Analizando la serie de datos provista por el Servicio Meteorológico Nacional para el período 1961-2020 (Fig. 1.3 y 1.4), se observa un promedio de precipitaciones anuales totales de 942 mm. El valor anual máximo registrado fue de 1.704 mm en el año 1993, mientras que el mínimo se registró en 1979 con un valor de 476,5 mm. El valor mensual más alto registrado fue de 399,7 mm, en noviembre de 1990. Los años de mayor sequía se encuentran en la década del 70, registrando un mínimo de precipitaciones en 1979, mientras que el máximo se dio en 1992. Analizando las últimas 2 décadas se observa un periodo húmedo con menores

variaciones que en el pasado, con precipitaciones casi siempre cercanas a la media, a excepción de un mínimo en el año 2008.

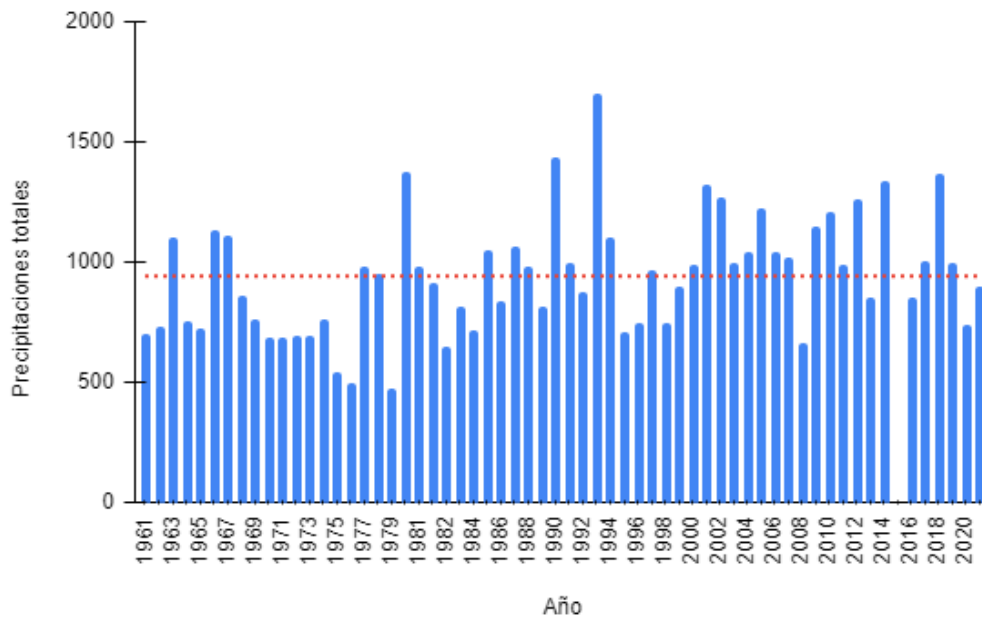


Figura 1.3: Precipitaciones totales anuales para el período 1961-2021, se excluye el año 2017, para el cual no se cuenta con datos. La línea punteada roja indica el promedio anual (gráfico de elaboración propia en base a datos provistos por el SMN).

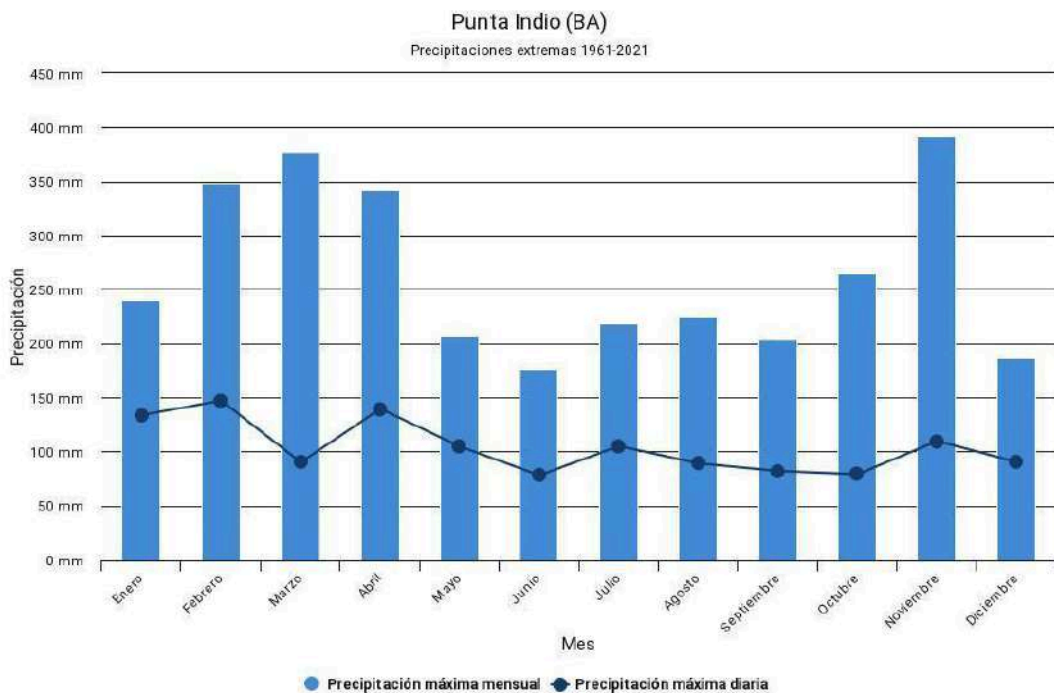


Figura 1.4: Promedio de las precipitaciones extremas mensuales para el período 1961-2021 (tomado del SMN)

El sector costero de Buenos Aires se ve regularmente influenciado por la circulación de vientos, entre los cuales destacan dos fenómenos: el pampero y las sudestadas. El pampero, proveniente desde el suroeste, se produce ante la interacción de un centro de baja presión ubicado en el océano Atlántico y otro de alta presión ubicado en el océano Pacífico, impulsando el avance de una masa de aire frío y seco en dirección al continente. Las sudestadas constituyen un fenómeno atmosférico caracterizado por lluvias persistentes y fuertes vientos desde el sudeste, a menudo acompañados por inundaciones en el sector costero del estuario del Río de la Plata. Las sudestadas suelen estar relacionadas con un sistema de alta presión al sur del estuario y baja presión al norte, o con una zona de baja presión muy profunda al norte del río (Escobar, 2004).

Analizando las direcciones promedio de los vientos entre los años 1961 y 2020, provistas por el SMN y plasmadas en las Figuras 1.5 y 1.6, se observa una ligera predominancia desde el sur y desde el norte, direcciones cuyas frecuencias rondan el 10% de los vientos totales. Las velocidades medias en general se encuentran entre 10 y 20 km/h, intervalo que contiene al 45% los datos.

Los vientos fuertes (aquellos que superan velocidades de 40 km/h), muestran una dirección predominante desde el sur y las velocidades máximas han llegado a superar los 80 km/h.

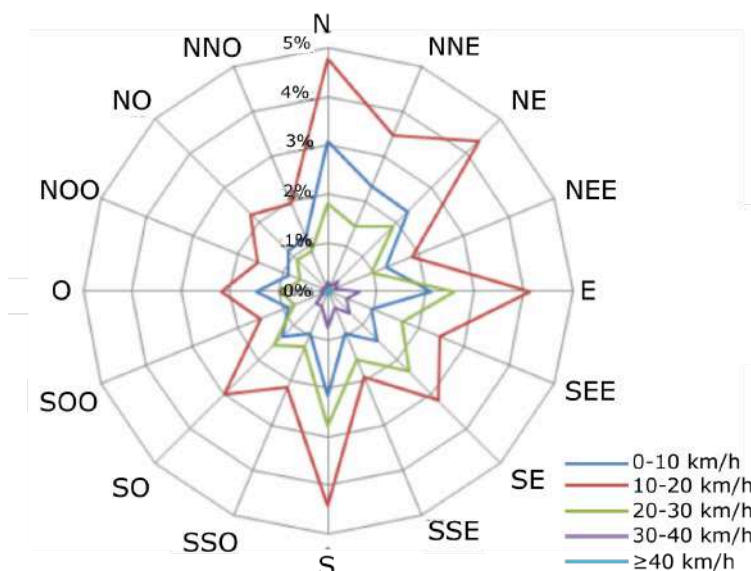


Figura 1.5: Distribución de las velocidades medias de los vientos para el periodo 1961-2021 (gráfico de elaboración propia a partir de datos del SMN).

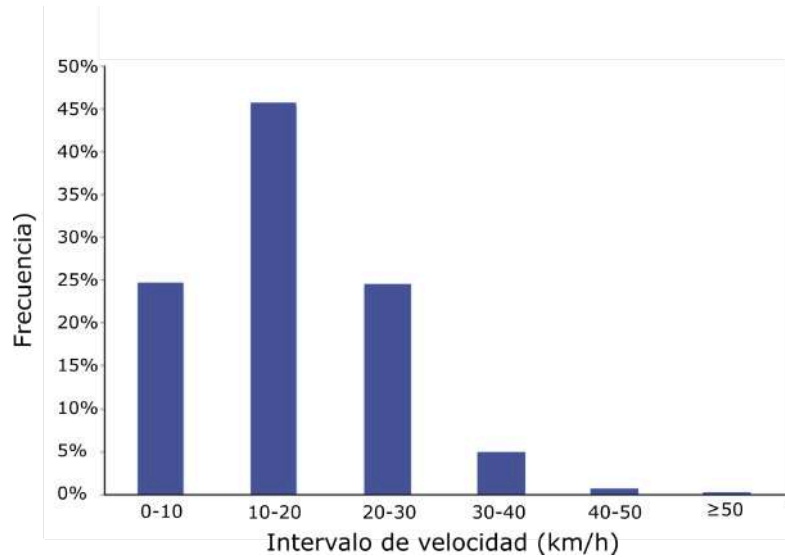


Figura 1.6: Distribución de la frecuencia de los distintos intervalos de velocidades medias. Gráfico de elaboración propia a partir de datos del Servicio Meteorológico Nacional, correspondientes a la estación Punta Indio.

Las velocidades máximas (Fig. 1.7) se ubican en su mayoría por encima de los 40 km/h y los datos contenidos en este intervalo, caracterizados como vientos fuertes, muestran una clara dirección predominante desde el sur y sureste (sudestadas). Secundariamente se observa también una abundancia de vientos fuertes provenientes desde el suroeste (pampero).

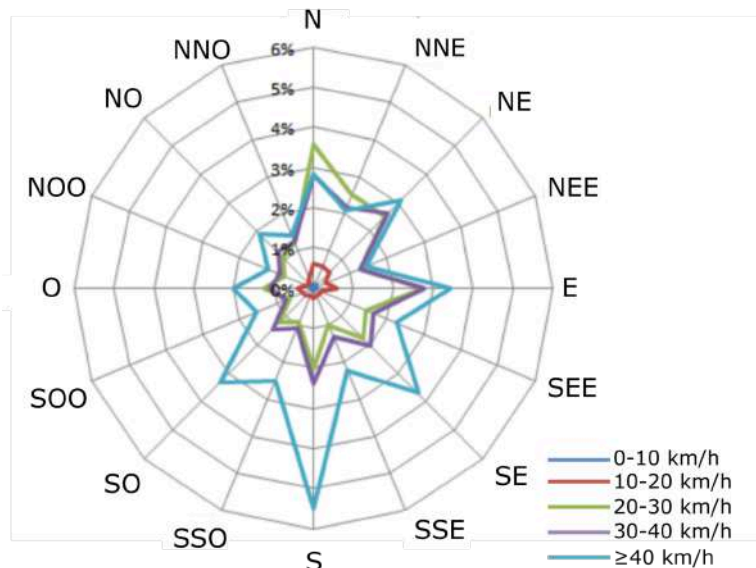


Figura 1.7: Distribución de las velocidades máximas de los vientos para el periodo 1961-2021 (gráfico de elaboración propia a partir de datos del SMN).

1.2.4 Hidrodinámica costera

El estuario del Río de la Plata corresponde al tramo final de la cuenca hidrográfica del Plata, la segunda más grande de Sudamérica (Gómez Samus et al. 2020). La extensión del estuario es de 320 km, con un ancho promedio de 40 km (Gallo et al., 2021), abarcando una superficie de 30.420 km². Se extiende desde la localidad de Nueva Palmira (Uruguay) hasta una línea imaginaria que une Punta Rasa (Buenos Aires) con Punta del Este (Uruguay). Este límite frontal está definido por la presencia de la Barra del Indio, un importante banco de arena que separa las aguas del estuario del océano (Fig. 1.8). El estuario del Río de la Plata posee una profundidad media de 6 metros, que aumenta en los canales navegables sometidos a dragado y en su desembocadura, en la parte central de la bahía Samborombón, en donde posee entre 10 y 12 metros de profundidad (Violante et al. 2008). La interacción entre las aguas fluviales y las aguas marinas que ingresan desde el Océano Atlántico le confieren características físico-químicas complejas al estuario. Se caracteriza por un régimen de cuña salina (*salt-wedge*), baja estacionalidad en el caudal, baja amplitud de marea, conexión amplia y permanente con el mar y una elevada susceptibilidad al forzamiento atmosférico debido a su escasa profundidad y su ancho creciente aguas abajo (Acha et al. 2008).

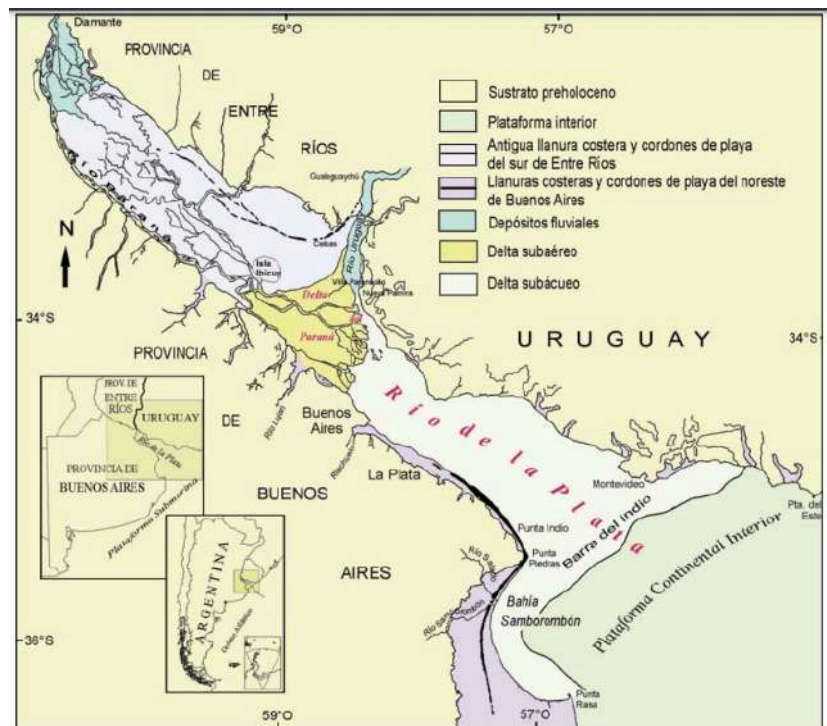


Figura 1.8: Límites del Estuario del Río de la Plata (Violante et al., 2008)

La circulación del agua en el estuario del Río de la Plata se encuentra afectada por diversos factores: las mareas oceánicas, el oleaje, directamente vinculado a los patrones de vientos que impactan la superficie del agua, y el aporte de los tributarios, principalmente los ríos Paraná y Uruguay, los cuales poseen en conjunto una descarga media de aproximadamente 23.000 m³/s (Fossati et al. 2014).

El estuario puede subdividirse en un sector interior ubicado entre la ciudad de La Plata y la localidad uruguaya de Colonia, un sector intermedio entre Colonia y Punta Piedras, y un sector externo entre Montevideo y Punta Rasa, aproximadamente (Fig. 1.8).

La zona de estudio se encuentra en el sector intermedio, el cual se caracteriza por el predominio del agua dulce, una turbidez permanente y una dinámica fluvial de comportamiento cuasi-bidimensional (el flujo tiene el mismo sentido en toda la columna de agua, con intensidades que aumentan hacia la superficie libre), con influencia de las mareas. El sector externo por su parte posee una salinidad mixta, con dinámica del campo salino y una dinámica fluvial tridimensional, con múltiples direcciones de flujo que son modificadas severamente en condiciones de tormenta o sudestada (Fossati et al. 2014). En este sector se encuentra la zona de descarga del delta del Río Paraná, un delta de bahía (bayhead delta) cuyo aporte sedimentario influye enormemente en la dinámica de las aguas del estuario. Su carga sedimentaria ronda las 160 Mt/año (Depetris y Griffin, 1968; Urien, 1972; Parker y Marcolini, 1989; Amsler, 1995; Sarubbi et al., 2004) y está constituida principalmente por sedimentos limo-arcillosos transportados en suspensión y en menor medida por arenas transportadas como carga de fondo (Sarubbi y Menendez, 2007), las cuales constituyen barras de desembocadura de morfología radial en el frente de progradación del delta (Gallo et al., 2021). Hacia el interior del estuario se observan una serie de cambios en el perfil granulométrico de la carga en suspensión (Fossati et al., 2014). En la parte superior de la zona intermedia se observan sedimentos predominantemente limosos con bajo contenido de arcilla y sin arena. Hacia la parte inferior de la zona intermedia, las concentraciones de arcilla comienzan a aumentar, registrando concentraciones máximas en las estaciones cercanas a la Punta Piedras, en donde comienza la Barra del Indio. Estos sedimentos poseen un transporte neto hacia el exterior (SE) en toda la zona intermedia, típico de descarga fluvial, contrastantes con los patrones más complejos

que presenta la zona exterior, en donde cobra importancia la acción de las corrientes litorales. Estas se desplazan paralelas a la costa y generan un movimiento de los sedimentos (deriva litoral) neto hacia el noroeste (Cavallotto, 2002). Los distintos componentes principales de la carga del estuario se ven reflejados en la Figura 1.9.

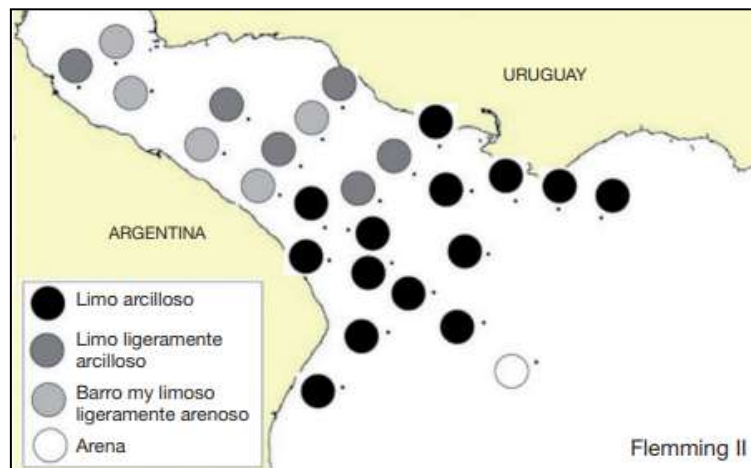


Figura 1.9: Principales componentes de la carga en suspensión en los distintos sectores del Río de la Plata (Fossati et al., 2014)

Según los datos registrados en el puerto de Atalaya por el Servicio de Hidrografía Naval (SHN) para el año 2021 la marea posee un régimen preponderantemente semidiurno micromareal. El nivel medio de la marea es de 0,85 m, la amplitud mareal media es de 0,67 m, mientras que la amplitud máxima registrada es de 1,18 m. Durante las pleamares se alcanzan alturas medias de 1,17 m y máximas de 1,57 m; mientras que las bajamares poseen alturas medias de 0,5 m y mínimas de 0,21 m.

Las mareas extraordinarias se dan en consecuencia al efecto de los vientos, principalmente aquellos provenientes del sudeste durante la sudestada. Sus efectos suelen ser incrementados por las mareas astronómicas, aunque no es necesaria la conjunción de ambos factores para que se produzcan. Estos eventos, que provocan el desborde de las aguas en condiciones de tormenta, son relativamente comunes en el estuario, generando depósitos de sobrelavado en la planicie estuárica. Según el registro del período 1950-2000 analizado por Escobar et al. (2004), las sudestadas muestran un aumento en su frecuencia durante la primavera y el verano, alcanzando máximos en los meses de febrero y marzo (Fig. 1.10). El nivel

de las aguas suele alcanzar una altura promedio de 1,93 m y los valores máximos han llegado a 3,48 m .

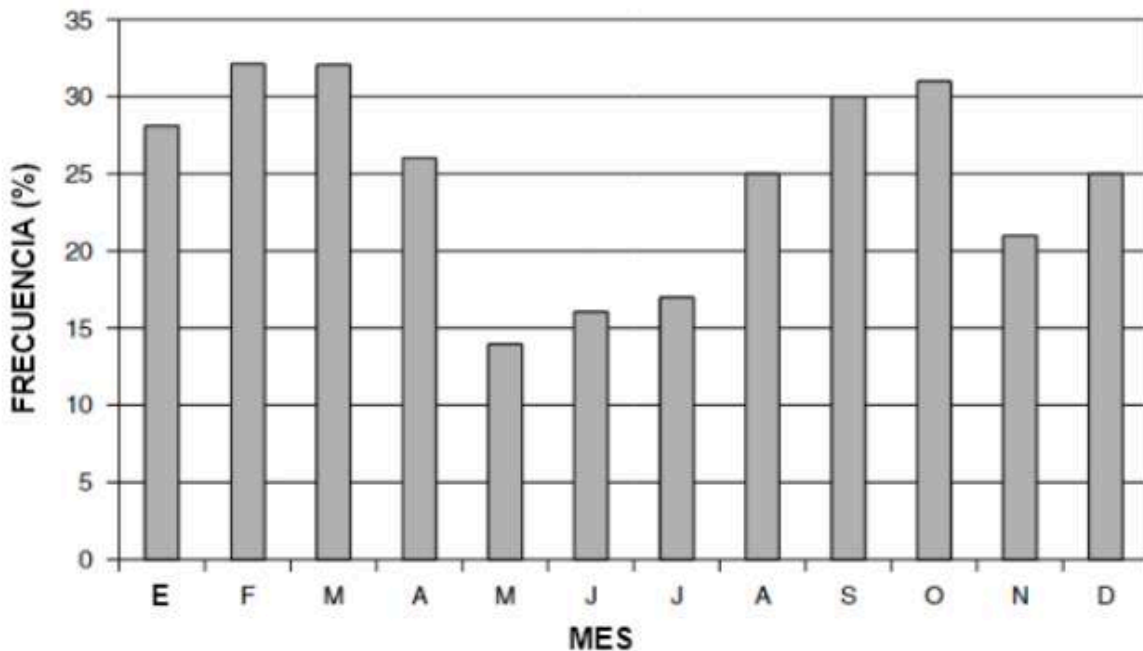


Figura 1.10: Distribución anual de las sudestadas en el Río de la Plata, promedios del periodo 1951 – 2000 (Escobar et al., 2004).

1.2.5 Suelos

Los suelos más representativos de la zona de estudio pueden clasificarse según las series definidas por el INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) en su carta de suelos. Las más abundantes son la Serie Atalaya, la Serie El Destino, la Serie Magdalena y la Serie Pipinas.

La Serie Atalaya aflora en el sector cercano a la localidad homónima, al noreste de la zona de estudio. Se trata de suelos pardo grisáceos con aptitud ganadero-agrícola y con un drenaje pobre. Se desarrolla sobre sedimentos actuales y sobre sedimentos de la Formación Luján (Tricart, 1973), sin alcalinidad sódica, no salino. Se trata de un Fluvaquent Mólico (USDA- Soil Taxonomy V., 2010) según su clasificación taxonómica.

La Serie Magdalena se compone de suelos profundos, de aptitud agrícola, algo pobremente drenados. Es de común presencia en el sector de la llanura loessica, en donde se desarrolla sobre los sedimentos loésicos finos de la Formación Pampeano (Tricart, 1973), no alcalino, no sódico, con pendientes que no superan el

0-0,5% y con buen desarrollo de un horizonte argílico. Su clasificación taxonómica es Paleudol Vértico, muy fino, illítico, térmico (USDA- Soil Taxonomy V., 2010).

La Serie El Destino se compone de suelos color gris muy oscuro, de aptitud ganadera, muy pobremente drenados, fuerte alcalinidad sódica y salinidad a los 20 cm de profundidad con pendientes de 0 a 0,5%. Está desarrollado sobre sedimentos finos eólicos-fluviales de la llanura loésica. Este suelo es clasificado como Natracuallf Vértico, fino, illítico, térmico (USDA-Soil Taxonomy V., 2010).

La Serie Pipinas se compone de suelos muy oscuros, profundos, su aptitud es agrícola, algo pobremente drenados, formados sobre sedimentos finos, eólicos-fluviales, no es alcalino y no contiene salinidad, con pendientes de 1%. Se encuentra desarrollado principalmente en la planicie estuárica, cubriendo la totalidad del territorio ocupado por la Estancia El Destino y gran parte de la franja costera del partido de Magdalena. Se lo clasifica taxonómicamente como Argiudol Vértico, fino, illítico, térmico (USDA-Soil Taxonomy V., 2010).

1.2.6 Hidrología e hidrogeología

El sistema hidrológico de la cuenca se compone por una serie de cursos fluviales de carácter efímero y permanente. El sistema de drenaje principal está constituido por los arroyos Buriñigo, Juan Blanco y Primera Estancia. Estos poseen una cuenca alta y media que se desarrolla en el sector de la llanura loésica y una cuenca baja en el sector de la planicie estuárica. Se trata de cursos de hábito sinuoso, que integran una red de drenaje de diseño dendrítico, de orientación SO-NE. Se extienden a lo largo de alrededor de 25 km y descargan sus aguas en el estuario del Río de la Plata. Los cursos efímeros se encuentran dispersos por toda la zona de estudio. En el sector de la planicie de marea ascendida, aparecen junto a antiguos canales de marea que ante la recarga pluvial se inundan, constituyendo pequeñas lagunas. Otro desarrollo común se da en los senos de los cordones litorales.

La hidrogeología local está constituida por los acuíferos Pampeano, de carácter freático o libre, y Puelches, de carácter semiconfinado. Estos se alojan en los sedimentos de origen continental de las formaciones homónimas (Amato y Silva Busso, 2006). Estos acuíferos superficiales son los de mayor importancia y a partir de ellos se abastece de agua a las comunidades de la zona (Auge et al. 2002). Las aguas del acuífero Puelches poseen valores de salinidad entre 500 y 10000 mg/dm³ y las del acuífero Pampeano entre 500 mg/dm³ y 5000 mg/dm³. Se clasifican según

el sistema de clasificación de Piper, como bicarbonatadas sódico cálcicas (Amato y Silva Busso, 2006). En menor proporción se encuentran aguas de tipo clorurado sódicas.

Estratigrafía	Hidroestratigrafía	Implicancia Paleambiental	Edad	Acuíferos Principales
Sedimentos Post-Pampeanos	Epiparaneano	Marino, Estuárico y Costero, Eólico Fluvial Lagunar	Holoceno	Acuitaros y Acuíferos
Sedimentos Pampeanos	Epiparaneano	Eólico Fluvial Lagunar	Pleistoceno	Acuífero Pampeano
Formación Puelches	Epiparaneano	Fluvial	Plioceno-Pleistoceno	Acuífero Puelches
Formación Paraná	Paraneano	Marino-Costero	Mioceno Medio-Sup.	Acuífero Paraná
Formaciones Olivos y/o Mariano Boedo	Hipoparaneano	Continental	Eoceno-Mioceno Inf.	Acuitardo
Basamento Cristalino	Basamento. Hidrogeológico	Ígneo/Metamórfico	Precamb-Paleoz. Inf.	Acuífugo

Tabla 1.1. Principales unidades estratigráficas y acuíferos asociados (Amato y Silva Busso, 2006).

El acuífero Pampeano posee una recarga de tipo local, la cual se produce cuando el agua proveniente de las precipitaciones se infiltra en el sector de la llanura loésica. A partir de este se produce la recarga de carácter secundario del acuífero Puelches, generada por infiltración vertical (Melo, 2019). Regionalmente, el flujo subterráneo posee un gradiente muy bajo, con valores de hasta $9,4 \cdot 10^{-4}$ (Melo, 2019), con una dirección general de descarga hacia el estuario del Río de la Plata (Fig. 1.11). En el sector de la llanura intermareal los canales de marea pueden interceptar al acuífero freático, que por lo general se encuentra a alrededor de 1 m de profundidad, produciendo su descarga local (Melo, 2019). Debido a la baja permeabilidad de esta zona, principalmente compuesta por arcillas, es común que se vea frecuentemente anegada en los periodos húmedos. A pesar de esto, la infiltración se ve favorecida frente al escurrimiento superficial debido a la baja pendiente que presenta la planicie.

Las terrazas de cordones litorales constituyen un sector de gran capacidad de infiltración y almacenamiento diferencial de las aguas de lluvia. Cuando se encuentran en su estado natural los cordones generan un relieve positivo que a su vez tiene una alta permeabilidad, lo cual favorece su recarga diferencial. El agua se infiltra en la cresta de los cordones (Fig. 1.12), en donde el nivel freático se

encuentra entre 2,30 y 1,75 metros de profundidad (entre 0,75 y 0,40 m s. n. m.). La descarga se produce en los senos de los cordones, que poseen baja permeabilidad por la acumulación superficial de arcillas. En este sector los niveles freáticos se somerizan y se encuentran por lo general a una profundidad de entre 2,25 y 0,70 metros (con cotas del nivel entre 0,15 y 0,26 m s.n.m.). La capacidad de acumulación de los cordones se ve altamente reducida ante modificaciones antrópicas, como la nivelación consecuente a la explotación minera. En el sector de planicie estuárica la dinámica del flujo subterráneo se ve condicionada por la interacción con la marea. En bajamar el agua se desplaza desde las terrazas de cordones de conchilla hacia la planicie estuárica y desde allí hacia el arroyo Buñirigo y el Río de la Plata, mientras que en pleamar la propagación de la marea produce una elevación en el nivel del agua. Esto hace que se sobrepase el nivel freático y se produzca el ingreso del agua mareal hacia el acuífero, invirtiendo el sentido de flujo (Melo et al. 2019).



*Figura 1.11. mapa de flujo subterráneo en el sector norte de la zona de estudio.
(Melo et al., 2019).*

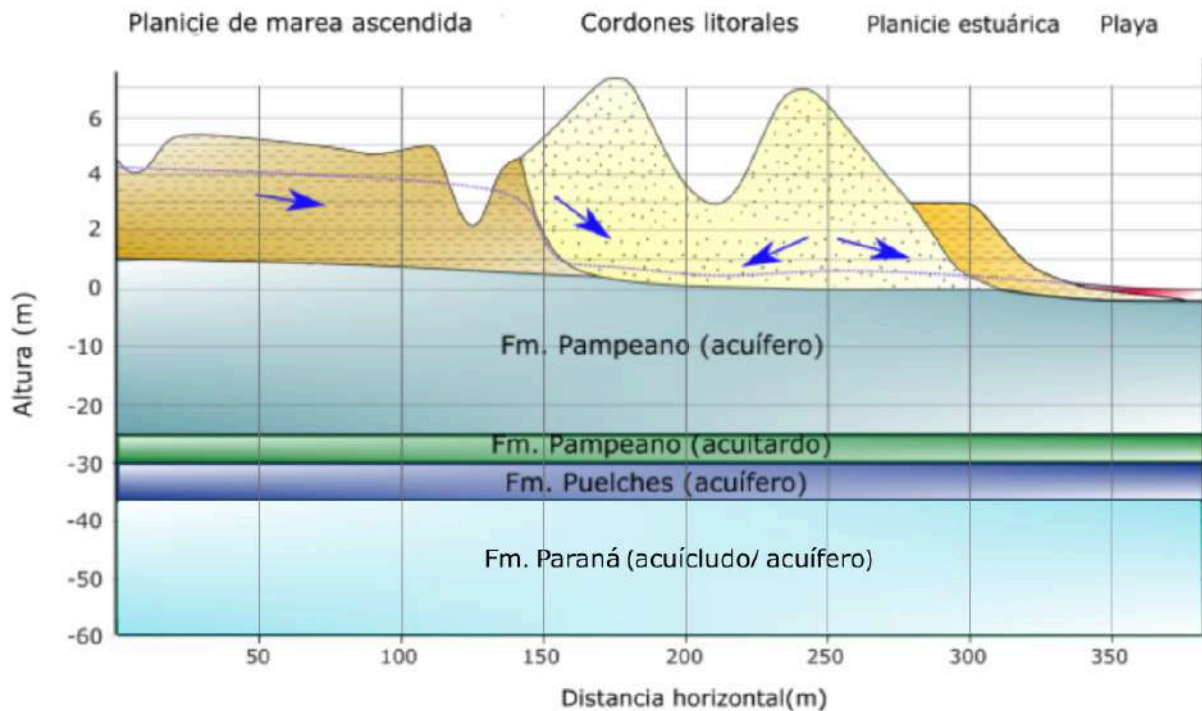


Figura 1.12. Perfil esquemático de los subambientes de la zona de estudio. Se indica en línea punteada el nivel freático y con flechas la dirección de flujo subterráneo.

1.2.7 Biodiversidad y sitios protegidos

Dentro de la zona de estudio se encuentra parte de una de las reservas naturales de mayor relevancia de la provincia de Buenos Aires y el país. El Parque Costero del Sur, fue declarado Reserva Mundial de la Biósfera por la UNESCO, debido a su alta biodiversidad, la presencia de ecosistemas costeros únicos, y su función en la investigación científica y la educación ambiental. Sus 26.581 hectáreas representan la continuación más austral de la Selva Marginal que, a su vez, es una continuación de la selva Paranaense, ubicada en la zona de transición entre los microclimas tropical y templado.

La Estancia El Destino es una reserva natural de 500 hectáreas ubicada dentro del parque y se puede acceder a ella siguiendo la Ruta Provincial N°11 durante 18 km hacia el sur de la ciudad de Magdalena. La reserva es hogar de una flora y fauna muy variada. Entre las especies animales albergadas por la reserva pueden nombrarse: gato montés, vizcacha, mulitas, peludos, zorrinos, hurones, zorros, carpinchos, escuerzos, ranas y gran variedad de especies de aves, entre las que

destaca la presencia del colibrí de garganta blanca. Por otra parte, es el único lugar donde aún se conserva la vegetación nativa del noreste de la provincia de Buenos Aires. Los cordones litorales y la topografía asociada se comportan como un factor determinante en el tipo de vegetación. Los sectores boscosos se desarrollan sobre el relieve positivo de los cordones litorales o sobre antiguos sistemas de médanos (Athor, 2009). Estos bosques están dominados por ejemplares bien preservados de talaes (algunos ejemplares superan los 30 cm de diámetro y los 12 m de altura), sombra de toro, ombúes, saucos y coronillos. Además de las especies nativas, se han implantado coníferas que también constituyen amplios bosques. En los sectores ubicados en los senos de los cordones, con tendencia a anegarse, se desarrollan pastizales y humedales estacionales. Las inmediaciones de la planicie estuárica son ocupadas por pajonales dominados por cortadera y espadaña (Athor, 2009). Además de la gran biodiversidad, el Parque Costero del Sur es un sitio de relevancia arqueológica. En él se conservan evidencias de las primeras poblaciones humanas en ocupar la zona, que destacan por su notable grado de conservación debido al bajo impacto antrópico que presenta la zona (Martínez et al. 2018).

2. METODOLOGÍA

La realización del presente trabajo constó de una etapa de trabajos de campo, en la que se realizaron relevamientos y toma de muestras, y una segunda etapa de trabajo de gabinete en donde se realizó el procesamiento y análisis de dichas muestras.

Previamente, se realizó una recopilación de bibliografía con información geológica a nivel regional y local para obtener un panorama general de los rasgos geomorfológicos y sedimentarios, la estratigrafía y la historia geológica de la zona.

Mediante el análisis de imágenes satelitales en Google Earth se evaluó la accesibilidad de distintos sectores y el potencial de representación del ambiente que se deseaba estudiar. Se utilizó la línea de tiempo del software para una observación general de la evolución de la costa a través de los años con el objetivo de reconocer los mayores cambios en el paisaje.

2.1 Trabajo de campo

El trabajo de campo tuvo como objetivo el reconocimiento de los subambientes, el levantamiento de perfiles topográficos de playa y la recolección de muestras de sedimentos.

El levantamiento de los perfiles topográficos se realizó mediante el uso de estación total (Spectra Precision modelo Constructor) (Fig 2.1). Se relevaron un total de 4 perfiles, referenciados mediante un punto fijo, cuyas coordenadas fueron obtenidas con un GPS (Global Positioning System) Garmin 64sc de alta sensibilidad y con cámara digital de 8 megapíxeles con enfoque y georreferenciación automáticos para su posterior ubicación en el mapa. Los perfiles se llevaron a cabo en dirección perpendicular a la línea de costa, tomando una serie de puntos con el objetivo de representar la totalidad de las geoformas atravesadas y tomando nota del subambiente al cual corresponden.

Las muestras de sedimentos de playa fueron recolectadas (en forma manual y cuidadosamente rotulada) precisamente de la zona de playa frontal y cara de playa, representando puntualmente las barras longitudinales y los canales entre ellas. Estas fueron guardadas para su posterior secado y tamizado.



Figura 2.1: Relevamiento topográfico con estación total.

Se describieron las características de los afloramientos procurando tomar nota de los distintos tipos de restos de vegetación y la presencia de desechos de origen antrópico contenidos en los niveles observados. Fueron también relevados dos afloramientos de cordones litorales en dos canteras ubicadas en distintos sectores (Fig. 2.2). Se describieron macroscópicamente y se tomaron muestras para realizar un análisis de las mismas.



Figura 2.2. Relevamiento de cordones litorales en la reserva El Destino.

El trabajo se completó con algunas entrevistas a habitantes y a empleados de la municipalidad para conocer las problemáticas que afectan a la población.

2.2 Trabajo de gabinete

Para el trabajo de gabinete el primer paso fue el secado de las muestras de sedimento. Este se realizó dejando las mismas sobre papel de diario por varios días, hasta que el contenido de humedad se redujo lo suficiente. Luego las muestras se procesaron en el Laboratorio de Sedimentología del Departamento de Ciencias Geológicas de la FCEyN, en donde se realizó el tamizado. Para esto, se cuartearon las muestras y se extrajeron submuestras representativas de alrededor de 100 g de cada una. Estas fueron introducidas en una pila de tamices (en intervalos de $1/2 \phi$) que a su vez se introdujo durante 10 minutos en un vibrador de tipo Rotap marca W.S. Tyler, modelo RX-29-10).

El contenido de cada tamiz fue luego pesado para calcular el porcentaje que cada fracción granulométrica. Las fracciones modales de cada muestra fueron fotografiadas a través de una lupa binocular marca Ragwag modelo PS210C1 para su observación mesoscópica y se separaron submuestras de cada fracción modal para la confección de cortes delgados.

Los datos recopilados fueron analizados mediante el software Gradistat (versión 9.1) para la obtención de los parámetros estadísticos, esto es: la media, la moda, la selección, la asimetría, la kurtosis y los porcentajes por tamaño de clasto. A su vez, utilizando el programa Origin Pro 8.1 se evaluaron las curvas de frecuencia acumulada a partir de las cuales se obtuvieron los mecanismos de transporte correspondientes a cada granulometría.

Para el análisis petrográfico se escogieron las muestras de grano suelto que se consideraron más representativas de cada zona y a partir de la moda de cada una se hicieron 8 cortes delgados (correspondientes a una muestra de un canal y una de una barra para cada zona). Estos fueron examinados en el laboratorio de petrografía del departamento de Ciencias Geológicas utilizando microscopios petrográficos de marca Leica, contabilizando 300 clastos en cada muestra para su posterior descripción.

Con los datos obtenidos de la estación total se confeccionaron perfiles topográficos sobre la base de los cuales se obtuvieron parámetros morfométricos de las playas como anchos y pendientes. Los mismos se realizaron mediante el ploteo de los

datos de altura y distancia horizontal en Excel. Los valores fueron corregidos con el fin de establecer el 0 de la escala horizontal en la posición de la línea de costa y el 0 de la vertical en el nivel medio de la marea. Con la ayuda de las anotaciones e imágenes registradas en el campo, se identificaron las distintas geoformas atravesadas por el perfil. Los perfiles fueron esquematizados mediante un programa de edición, en donde se indicaron además los subambientes, los niveles de alta y baja marea y construcciones de origen antrópico presentes.

El análisis de evolución de la línea de costa se llevó a cabo mediante el uso de fotografías aéreas históricas del año 1963 provistas por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y de los años 1983 a 1987 provistas por la Agencia de Recaudación de la Provincia de Buenos Aires (ARBA). Las fotografías fueron georreferenciadas mediante el software QGIS y colocadas en el Google Earth para su comparación con las imágenes satelitales provistas por dicho software (de los años 2003, 2010 y 2019).

Un mapa geomorfológico de la zona de estudio en escala 1:120000 se realizó utilizando el software QGis. Posteriormente se lo editó utilizando Inkscape para agregar referencias y leyendas.

3. ESTRATIGRAFÍA

3.1 Marco estratigráfico regional

La zona de estudio se encuentra en un paisaje cuya geomorfología y registro sedimentario ha sido resultado de una interacción compleja entre distintos elementos morfogénicos, tales como la geometría del sustrato, la tectónica, las variaciones relativas del nivel del mar, las condiciones hidrometeorológicas y la dinámica costera (Cavallotto, 1995; Cavallotto y Violante, 2005).

Durante el Mesozoico se desarrolló una etapa de extensión global, vinculada con la ruptura del supercontinente Pangea y la consecuente apertura del Océano Atlántico. En este contexto, se produjo la apertura de la cuenca del Salado al este de Gondwana Occidental. El primer ciclo depositacional correspondió a la etapa de sinrift de la cuenca, desarrollada durante el Jurásico Superior-Cretácico Inferior. La secuencia estratigráfica que representa este episodio comienza con los basaltos efusivos de Serra Geral, por encima de los cuales se apoyan los sedimentos continentales de la Formación Río Salado constituido por conglomerados, areniscas y fangolitas (Yrigoyen, 1999).

En discordancia angular, correspondientes a la etapa de subsidencia térmica, se apoyan los depósitos de tipo *red beds* de la Formación General Belgrano, constituida por areniscas continentales de grano fino, que gradan a sedimentos marinos someros correspondientes a un ambiente proto-oceánico (Tavella, 2005). Continúa la secuencia la Formación Las Chilcas (Zambrano, 1971), la cual está conformada por limolitas y arcilitas gris verdosas con areniscas, yeso y anhidrita subordinadas (Yrigoyen, 1999). Esta unidad representa la primera ingresión marina profunda en la cuenca.

Hacia el Eoceno comenzó la etapa de margen pasivo, con depósitos de ambiente principalmente continental representado por las facies transicionales de la Formación Los Cardos, con areniscas de grano grueso, rosadas y blanquecinas. Sobreyacen a esta unidad, las facies continentales de la Formación Olivos (Groeber, 1945), del Oligoceno-Mioceno inferior, que se componen de areniscas gruesas castaño rojizas, que pasan a arcilitas pardo rojizas en la parte superior. El origen de estos depósitos es variado, incluyendo sedimentos eólicos, de lagunas poco profundas y fluviales, además de intercalaciones evaporíticas de yeso y anhidrita.

Para el Mioceno tardío, un nuevo ciclo transgresivo se ve representado en las arcillitas gris verdosas de la Formación Paraná (Yrigoyen, 1975).

En contacto neto y generalmente erosivo por encima de la Formación Paraná y en ocasiones directamente sobre la Formación Olivos (Santa Cruz, 1993), se depositan las areniscas cuarzosas amarillentas a pardas correspondientes a la Formación Puelches (Santa Cruz, 1972), la cual representa un ambiente fluvial desarrollado durante el Plioceno-Pleistoceno. Está compuesta por arenas, de colores amarillentos grisáceos a blanquecinos, con intercalaciones de gravas y rodados en sus niveles inferiores (Santa Cruz 1972).

3.2 Marco estratigráfico local

Sedimentos Pampeanos (Formación Pampeano)

Los Sedimentos Pampeanos (Gonzalez Bonorino, 1965), redefinidos como Formación Pampeano por Fucks (2010), poseen una amplia extensión en el territorio de la provincia de Buenos Aires y han sido estudiados por numerosos autores que a su vez los han definido con distintos nombres. Esta formación se apoya en contacto transicional o gradual sobre la Formación Puelches (Amato y Silva Busso, 2005). Están constituidos por sedimentos continentales de color castaño, limos arcillosos a limos, carentes de estratificación y con una cementación predominante de carbonatos de calcio en forma de nódulos, concreciones y mantos horizontales. Es común la presencia de paleosuelos, así como también la presencia de sectores de escaso desarrollo pedogenético (Zárate e Imbellone, 1998; Blasi et al. 2001). Estos depósitos de origen eólico, lacustre y fluvial constituyen buena parte del sector occidental del área de estudio, en la llanura loessica, unidad que comprende un área muy importante de la provincia de Buenos Aires. Dentro de estos depósitos se aloja el Acuífero Pampeano. Bonorino (1965) subdividió a la Formación Pampeano en dos unidades: Formación Ensenada (sección basal y media) y Formación Buenos Aires (sección superior), entre las cuales se observa una clara discordancia erosiva (Bidegain y Rico, 2004) pero no diferencias litológicas significativas.

Sedimentos Post Pampeanos

Los Sedimentos Post Pampeanos (Ameghino 1908) (resumidos en la Tabla 3.1) comprenden los depósitos recientes del Pleistoceno tardío- Holoceno, conformados por limos arenosos y arcillas normalmente consolidados. Se reconocen en la zona, principalmente, las formaciones Puente de Pascua, Canal de las Escobas y Río Santiago.

Formación Puente de Pascua

Esta formación, definida por Fucks et al. (2010), se compone de sedimentos de origen marino asociados a la transgresión del Pleistoceno tardío, durante el Último Máximo Interglacial (MIS 5e), en donde se alcanzaron 8 m s.n.m.

Posee una amplia distribución en el litoral bonaerense con afloramientos dispersos que se pueden encontrar desde San Fernando hasta Bahía Blanca (Schnack et al. 2005), a pesar de la falta de edades absolutas que aseguren la correlación entre estos. Se compone de sedimentos castaños a verdosos y grisáceos, arenas finas y areniscas arcillosas con abundantes conchillas de bivalvos, enteras y fragmentadas y rodados retrabajados de calcretas continentales (Gomez Samus et al. 2020). Estos depósitos son asignables a ambientes estuáricos y litorales (Fucks et al. 2010) por lo que constituyen los primeros depósitos asociados a la dinámica actual del estuario del Río de la Plata.

Formación Canal de las Escobas

Tras el Último Máximo Glacial, el nivel del mar aumentó hasta alcanzar un máximo y posteriormente comenzó un descenso hasta el nivel actual (Cavallotto, 1995). Las unidades correspondientes a estos ciclos transgresivos-regresivos acontecidos durante el Holoceno se agrupan en la Formación Canal de las Escobas. Esta se divide a su vez en cuatro Miembros: Destacamento Río Salado, Canal 18, Cerro de la Gloria y Canal 15 (Fucks et al. 2008).

Miembro Destacamento Río Salado

También denominado Formación Destacamento Río Salado (Fidalgo et al. 1973) o Formación Atalaya (Cavallotto, 1995), se encuentra en contacto discordante o transicional sobre las formaciones Puente de Pascua y Pampeano. Se caracteriza por poseer sedimentos arcillosos a arcillo

arenosos, de color negro a negro grisáceo. Muestra estratificación lenticular en la base y grada hacia arriba a una estratificación ondulosa que en ocasiones no se observa debido al alto grado de bioturbación. Es común la presencia de ondulitas simétricas y asimétricas. Presenta ocasionalmente paleocanales de decenas de centímetros rellenos con conchillas masivas (Fucks et al. 2010).

El ambiente depositacional se interpreta como intermareal de llanura costera de baja energía, presentando subambientes de barras, lagunas costeras y estuáricos, que se asignan a un cortejo transgresivo (Cavallotto, 1995; Fucks et al. 2010). Las edades radiocarbónicas indican una edad entre los 7 y 5.9 ka (Cavallotto, 1995).

Miembro Canal 18

Se apoya en discordancia sobre el Miembro Río Salado. Está compuesto por sedimentos friables areno-limosos con intercalaciones arcillosas, de colores castaño amarillentos a castaño verdosos. Hacia la base presentan estratificación flaser que pasa transicionalmente a texturas masivas o una fina estratificación areno arcillosa hacia la parte superior (Fucks et al. 2010). Contiene niveles conchíferos constituidos por valvas con buena preservación. Hacia el techo se observa una mayor proporción de arcillas homogéneas con estructura lenticular.

El ambiente sedimentario se interpreta como una llanura de mareas abierta al mar que pasa a un ambiente más restringido luego de la formación de una barrera.

Miembro Cerro de la Gloria

Se agrupan en este miembro a los depósitos de cordones litorales observados en el sector oriental de la zona de estudio. Estos poseen espesores de hasta 5 m y exhiben una orientación regional SO-NE, dispuestos paralelos a la línea de costa a lo largo de todo el sector norte de la costa de Buenos Aires. En la zona de estudio se observaron afloramientos de los mismos en una cantera abandonada dentro de la Reserva El Destino y en las banquetas de la ruta Nacional, de donde probablemente se extrajera material para la construcción de los caminos. Los cordones se componen

mayoritariamente de bioclastos de caparazones de bivalvos y en menor medida de gasterópodos, los cuales presentan tamaños y grados de conservación muy variados, habiendo ejemplares completos y otros extremadamente fragmentados. Estos aparecen caóticamente distribuidos, sin mostrar una orientación preferencial. Alternan también niveles arenosos con intercalaciones más finas de niveles conchíferos y gravas subordinadas. En algunos de los niveles se reconocen estratificaciones planares de bajo ángulo, las cuales inclinan en dirección hacia el río (hacia el este), aunque también se han descrito sectores con inclinaciones hacia el oeste (buscar cita). Otras estructuras reconocidas son de tipo subhorizontal, cruzada tabular-planar, en montículos, cruzadas lenticulares y en artesas (Spalletti et al. 1987).

El ambiente depositacional se interpreta como un ambiente de playa de alta energía, deducido por las morfologías cordoniformes y el grado de fragmentación que presentan las conchillas (Fucks et al. 2010). Estas condiciones se habrían dado durante un período de descenso relativo del nivel del mar, consecuencia de una regresión forzada (Richiano et al. 2012).

Miembro Canal 15

Está compuesto de un sedimento arcilloso, de colores grises, gris verdosos y castaños grisáceos, de aspecto masivo y que evidencian un alto contenido de materia orgánica parcialmente descompuesta. También se observan sectores de colores amarillentos constituidos por óxidos de hierro. Se incluyen también los sedimentos de la actual llanura intermareal, los cuales presentan características similares, aunque con materia orgánica más conservada, evidenciado por una menor presencia de tonalidades oscuras. Estos depósitos más jóvenes también se diferencian por la presencia de desechos de origen antrópico, principalmente plásticos. Cavallotto (1995) separa a estos últimos en la Formación Río Santiago. Los espesores de los afloramientos varían entre 1,5 y 2 m y pueden ser observados en el sector litoral aledaño a la actual línea de costa, como por ejemplo en el sector de la Reserva El Destino. El ambiente sedimentario se interpreta como llanuras de mareas que han gradado a marismas, en una costa en retroceso (Fucks et al.

2010). La edad de este miembro se estimó por relaciones estratigráficas entre 3.5 y 2.5 ka (Cavallotto 1995).

Formación Río Santiago

Definida por Cavallotto (1995), esta unidad holocena se encuentra constituida por dos facies, una arenosa y otra arcillosa. La primera corresponde a arenas con estratificación paralela que constituyen el denominado “albardón costero” por Cavallotto (2002), descrito en la costa de la localidad de Ensenada. Su génesis se relaciona con desbordes y crecidas generados en condiciones de tormenta. La segunda facies es de composición principalmente limo arcillosa, con presencia de arena, y suele presentar restos de vegetación y materiales de origen antrópico hacia el techo. Estos depósitos corresponden a la dinámica actual de la planicie costera, con floculación de arcillas por incremento de la salinidad en un ambiente de mezcla (Gomez Samus et al. 2020).

Unidad Litoestratigráfica	Litología	Ambiente	Elevación Máxima del Nivel del Mar	Época	Edad Numérica
Fm Río Santiago (Cavallotto 1995)	Facies arenosa: Arenas con estratificación paralela	Desbordes de tormentas	1 m	Holoceno	Actualidad
	Facies arcillosa: Limo arcilloso, con restos de vegetación y materiales artificiales en la mitad superior				
Mb Canal 15 (Fm Canal de las Escobas)	Arcillas grises, verdes y castañas grisáceas, con abundante materia orgánica y óxidos de hierro	Llanuras de marea que gradan a marismas	3 a 4 m		3,5 - 2,4 Ka
Mb Cerro de la Gloria	Acumulaciones de valvas de moluscos con estratificación cruzada de bajo ángulo	Playa de alta energía			5 - 4 Ka
Mb Canal 18	Arenas limosas gris castañas, masivas o con estratificación fina.	Llanuras de marea			5,5 - 6,5 Ka
Mb Destacamento Río Salado	Arcillas y arcillas arenosas estratificadas, de color oscuro.	Intermareal de llanura costera, con subambientes restringidos			6 - 7 Ka
Fm Puente de Pascua (Fucks et al. 2010)	Arenas finas, limos y arcillas. Niveles con valvas moluscos	Estuárico a litoral	6 a 8 m	Pleistoceno Tardío	ca. 130 Ka

Tabla 3.1. Resumen de las características de las principales formaciones aflorantes en la zona de estudio (Gómez Samus et al., 2020).

3.3 Descripción de afloramientos - Reserva El Destino

El perfil presentado a continuación se relevó en la Reserva Natural El Destino (Fig 3.1), en las coordenadas S 35° 7' 29", O 57° 22' 51", sobre el límite entre los sectores de planicie estuárica y playa. Este afloramiento de 1,2 m de altura se encuentra expuesto por una escarpa de erosión que deja al descubierto los sedimentos que lo componen (Fig. 3.1).



Figura 3.1. Fotografía de campo donde se observa el aspecto del límite entre la planicie estuárica y la playa frontal (en línea punteada) en la Reserva El Destino



Figura 3.2. Afloramiento relevado sobre la escarpa de erosión en la reserva El Destino.

En la base de la secuencia se observan arcillas masivas de color castaño oscuro, poco consolidadas y con abundante materia orgánica y restos de raíces de color negro. Hacia el sector superior, la secuencia continúa con arcillas de similares características a la primera unidad, aunque con mayor presencia de raíces, algunas de las cuales corresponden a la vegetación actual y penetran aproximadamente

hasta una profundidad de 20cm desde el techo de la unidad. También se presentan óxidos de hierro, de colores amarillentos a rojizos, que aparecen diseminados a lo largo del nivel. Cabe destacar la presencia de material antrópico, que se compone principalmente de desechos de material plástico, como bolsas de nylon, etiquetas y trozos de botellas. Sobre el techo de esta secuencia se observaron depósitos de sobrelavado, con material orgánico, y desechos antrópicos, los cuales evidencian la exposición de este perfil a los procesos hidrodinámicos que dominan el estuario. Por las características anteriormente mencionadas, se asigna la totalidad del perfil a la Formación Río Santiago.

4. GEOMORFOLOGÍA

La zona de estudio puede dividirse en dos zonas con tendencias geomorfológicas distintas (Fig. 4.1): un sector costero (planicie estuárica y playa) caracterizado por la dinámica propia del estuario; y otro sector continental (planicie de marea ascendida y terraza de acumulación marina) dominado por geoformas relícticas marinas y por procesos fluviales actuales. Este último sector se encuentra limitado al oeste por la planicie loésica, que si bien no es abarcada dentro de la zona de estudio, influye en gran medida a su dinámica hidrogeológica. Dicha planicie está constituida por los Sedimentos Pampeanos y constituye, por su espesor y amplia distribución, la unidad litológica que caracteriza la llanura pampeana y representa el sustrato donde se desarrollan los procesos generadores de muchos rasgos del actual paisaje (Fucks et al. 2017).

Toda la zona constituye un paisaje compuesto, en donde tienen lugar procesos fluviales, marinos, otros propios de la dinámica actual del estuario y, en menor medida, procesos de remoción en masa. Se incluye un mapa donde se detallan las principales unidades geomorfológicas (Figura 4.1; ver mapa ampliado en Anexo).

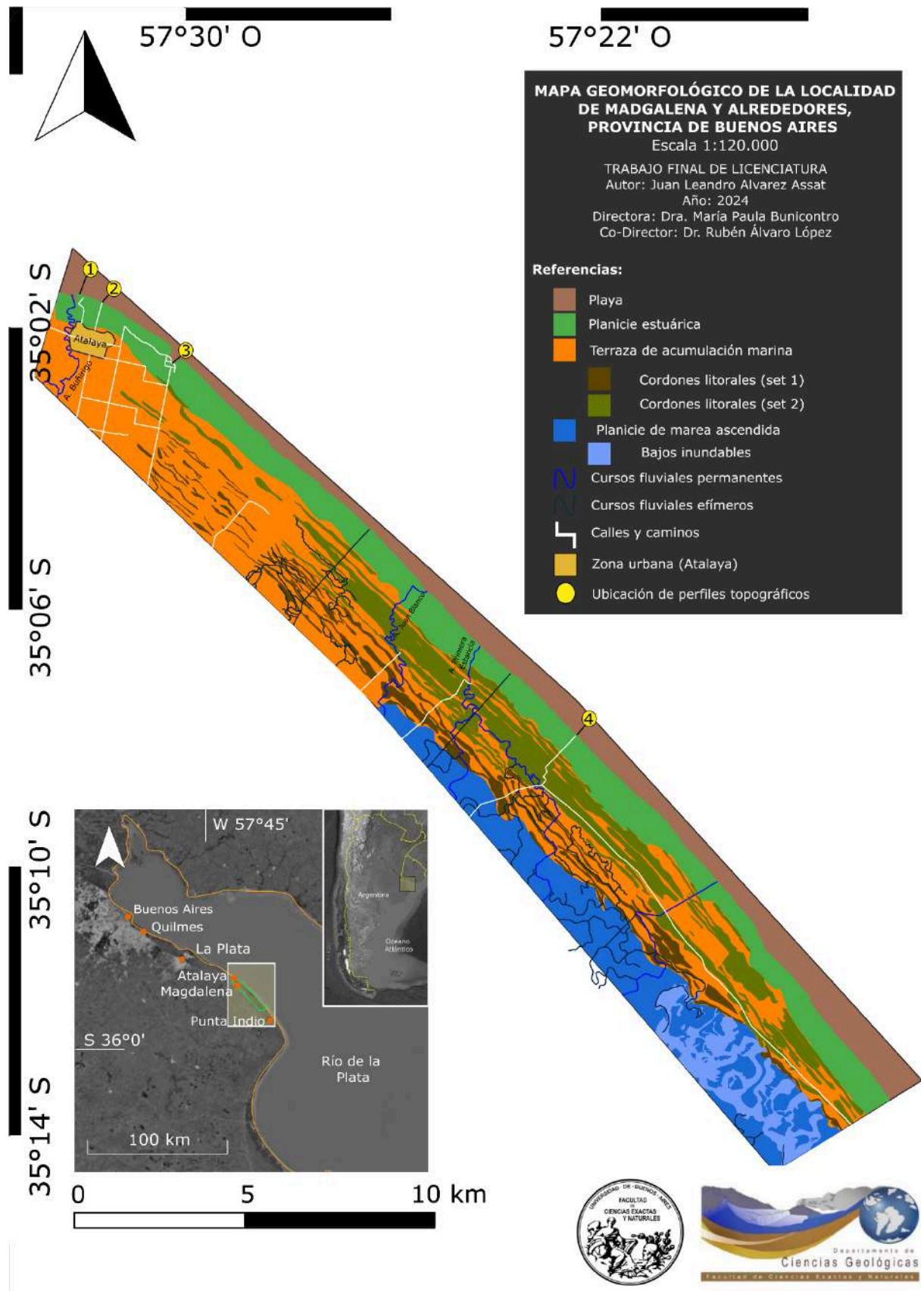


Figura 4.1. Mapa geomorfológico en escala 1:120.000 del área de estudio. Ampliado en el Anexo.

4.1 Dinámica estuarial

4.1.1 Playa

Se incluyen en esta unidad a los depósitos de sedimentos arenosos movilizados actualmente por el estuario, los cuales constituyen una franja angosta paralela a la costa. Por lo general, los depósitos de playa se encuentran limitados hacia el oeste por escarpas erosivas que generan resaltos de 1 a 1,5 m de altura. Este sector se encuentra bajo la influencia constante del oleaje y las mareas, desarrollando perfiles disipativos de muy baja pendiente ($<1^\circ$). Dentro de los perfiles se identifican los subambientes de playa frontal y cara de playa, en los cuales se desarrollan múltiples canales y barras de lavado paralelas a la costa (Fig. 4.2). Se tomaron muestras de los sedimentos que constituyen a estas geoformas y se encontró una composición dominada por arenas finas (ver capítulo 6). La descripción detallada de estos depósitos fue realizada mediante perfiles de playa y muestreos sedimentológicos, cuyos resultados se exponen en los capítulos 5 y 6.

En el sector superior de la playa frontal, es común observar el desarrollo de vegetación, principalmente juncuales del mismo tipo que los observados sobre la planicie estuárica.

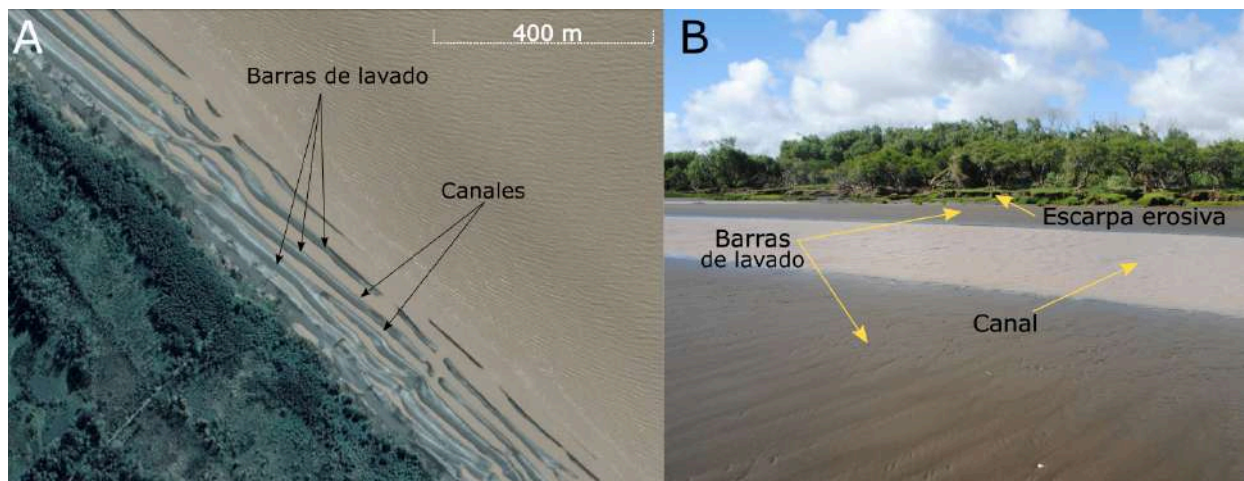


Figura 4.2. A) Imagen satelital del sector de playa de la reserva el destino, se observan las barras de lavado ya que fue tomada durante la baja marea. B) Fotografía del sector de Playa en la Reserva El Destino.

4.1.2 Planicie estuárica

Esta unidad, también denominada llanura costera de fango por Cavallotto (2002), se desarrolla en el extremo este de la zona de estudio, limitando con las aguas del estuario del Río de la Plata. Constituye una franja de aproximadamente 600 m de ancho que se extiende paralela al estuario, y cuyas elevaciones se encuentran por lo general por debajo de la cota de los 2,7 m s.n.m. Su relieve es ligeramente cóncavo con una inclinación general hacia el estuario y se encuentra a menudo afectada por mareas extraordinarias, lo cual se evidencia en depósitos característicos (Fig. 4.3 B).

Los sedimentos que componen a la planicie son principalmente fangosos, con un buen desarrollo de suelos, los cuales proveen sustento a una vegetación que se encuentra adaptada a la alta saturación de agua que poseen (Melo, 2019) (Fig.4.3 A). Esta se constituye principalmente de poblaciones herbáceas ribereñas, como pajonales (Cellone, 2019). En algunos sectores, esta vegetación se interna incluso hasta la zona proximal de la playa. La baja pendiente del sector, sumado a los sedimentos impermeables que lo componen, contribuyen a que se vea frecuentemente anegado.



Figura 4.3: A: vegetación típica del sector de planicie estuárica, compuesta por pajonales, pastizales y algunos árboles. B: Depósitos de mareas extraordinarias sobre la planicie estuárica.

Sobre la línea de costa, se observan evidencias de procesos de remoción en masa como vuelcos (Figura 4.4 A) y expansiones laterales (Figuras 4.4 B y 4.4 C). Estos procesos generan resaltos en el terreno, como las escarpas erosivas que por lo general se encuentran en el límite entre la planicie estuárica y la de playa.

Los procesos fluviales como el escurrimiento superficial que se da en épocas de muchas precipitaciones generan también erosión hídrica formando cárcavas, que se hacen abundantes en las zonas sometidas a expansiones laterales.

La planicie estuárica corresponde al tramo final de la cuenca baja de los arroyos principales, y en ella se encuentran las desembocaduras de estos cursos hacia el estuario del Río de la Plata.

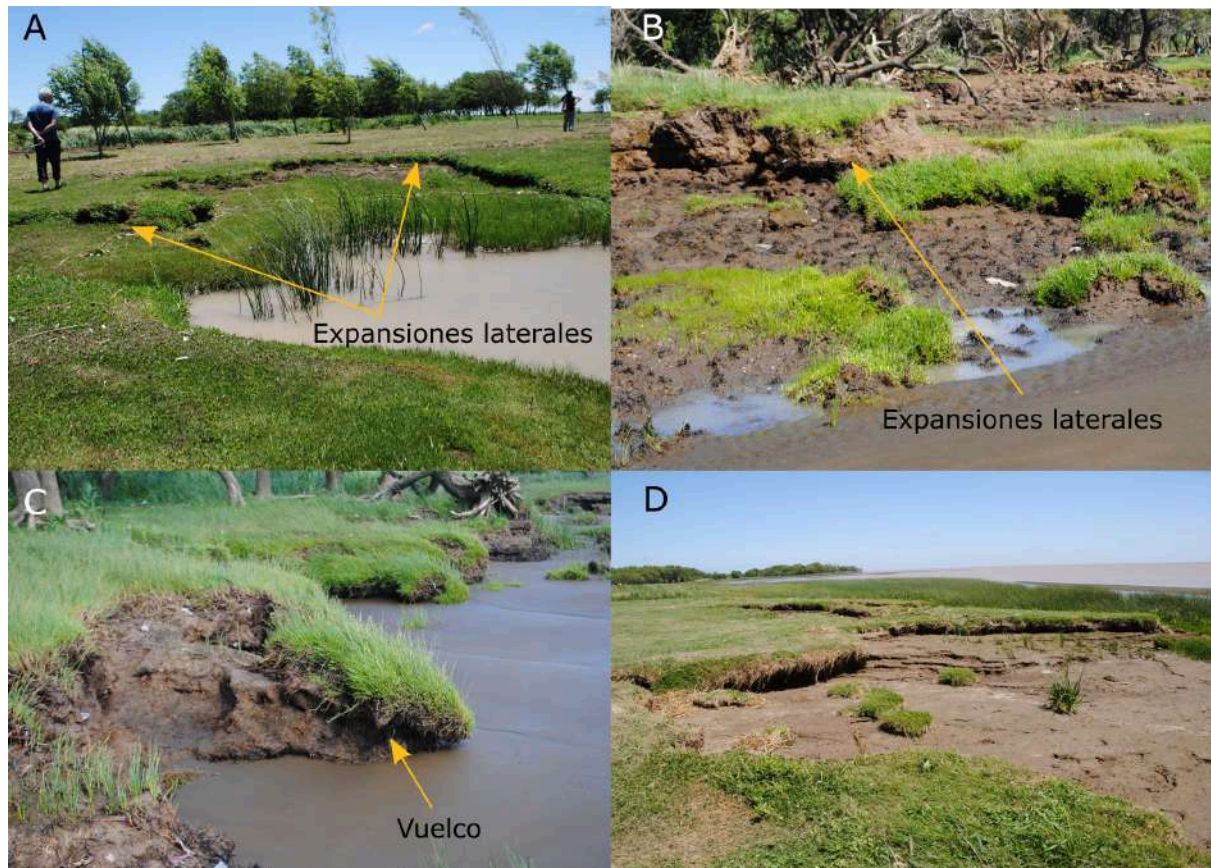


Figura 4.4: procesos erosivos en la planicie estuárica. Expansiones laterales en las cercanías de Magdalena (A), vuelcos y expansiones laterales en la Reserva El Destino (B y C) y escarpa de erosión en el sector de Atalaya (D).

4.2 Proceso marino

4.2.1 Terraza de acumulacion marina

Se encuentra al oeste de la planicie estuárica, abarcando todo el largo de la zona de estudio y con un ancho que varía entre 15 y 30 km. Su principal característica morfológica es la presencia de cordones litorales que alcanzan longitudes de hasta 3.000 metros y alturas de entre 2,5 y 5 m s.n.m. Estos se observan en el campo como acumulaciones de sedimentos arenosos y fragmentos de valvas, cuya presencia genera ondulaciones del terreno, con altos en las crestas y bajos en los senos de los cordones. Se observan en planta como rasgos lineales que se extienden paralelos a la costa, con orientación NO-SE, con longitudes de hasta 3 km y anchos entre 50 y 150 m. Se distinguen dos conjuntos de cordones que difieren en sus características (Fig. 4.5). En el set 1, el más oriental, los cordones presentan una menor longitud de onda, con senos poco desarrollados y en algunos casos prácticamente imposibles de observar debido a un amalgamamiento de cordones. La disposición en este conjunto es paralela a la costa actual y con poca variación en la orientación de los cordones.

El set 2, ubicado hacia el interior del continente, se caracteriza por un mayor espaciamiento, con senos más desarrollados y una orientación más variable, en ocasiones oblicua a la línea de costa actual. Además, es más común el anegamiento y el desarrollo de canales fluviales efímeros en los senos de este conjunto.

En imágenes satelitales, las crestas de los cordones pueden identificarse principalmente en la zona central del área de estudio, en donde se encuentran poblados de vegetación arbórea, contrastando con los senos que se encuentran desprovistos de esta.

La vegetación autóctona, originalmente compuesta por ejemplares de *Celtis Tala*, hoy en día solo se conserva en sectores muy específicos como el Parque Costero del Sur. En el resto de la zona ha sido reemplazada por especies de coníferas introducidas.

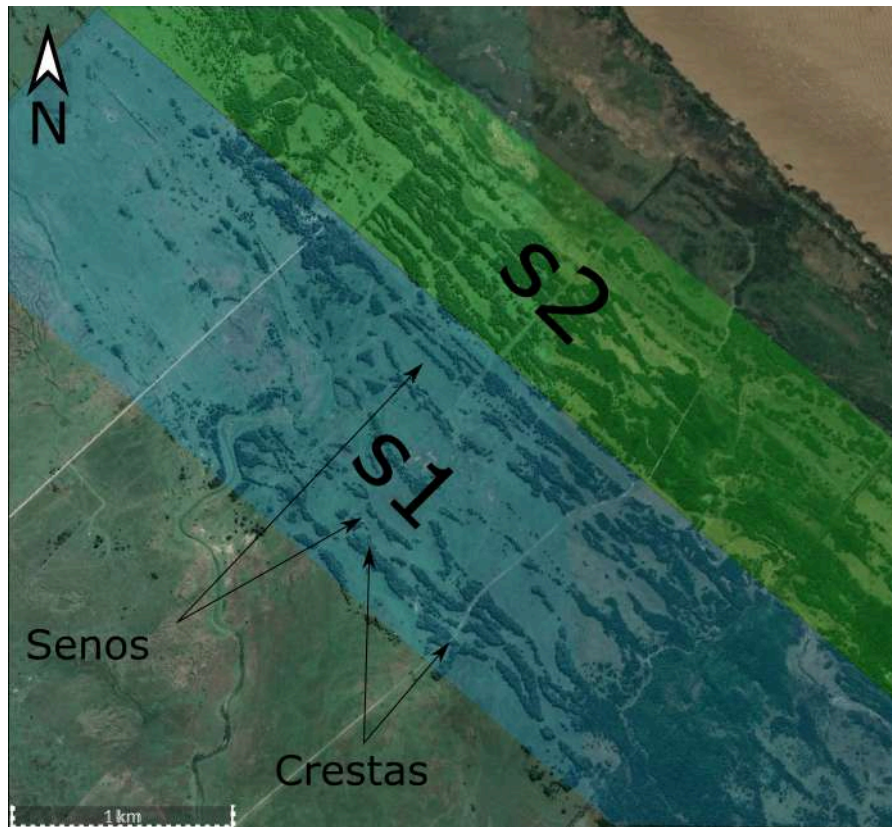


Figura 4.5: Aspecto de los cordones litorales en imagen satelital. Se indican los dos conjuntos de cordones (s1 y s2).

Por ser zonas de acumulación de material calcáreo, los cordones litorales han sido explotados en muchos sectores para la utilización de este material en construcción. Esto ha resultado en la pérdida de su morfología natural y de la vegetación que los cubría originalmente, en especial en el sector NO de la zona de estudio, sometido a una mayor explotación. La estructura interna de los cordones litorales puede observarse con claridad en las canteras que resultan de esta actividad. En la zona de estudio, se pudieron observar dos de ellas, una en la reserva El Destino (Figuras 4.6 A y 4.7-A) y otra a orillas de la RP11 (Figuras 4.6-B y 4.7-B). En ambos casos los cordones están constituidos por sedimentos areno-limosos con una gran proporción de material bioclástico que, a su vez, se compone principalmente de restos de partes duras de bivalvos y gasterópodos. En algunos niveles se observan estructuras tales como estratificación entrecruzada con una leve inclinación en dirección al estuario (hacia el norte) y gradación inversa.

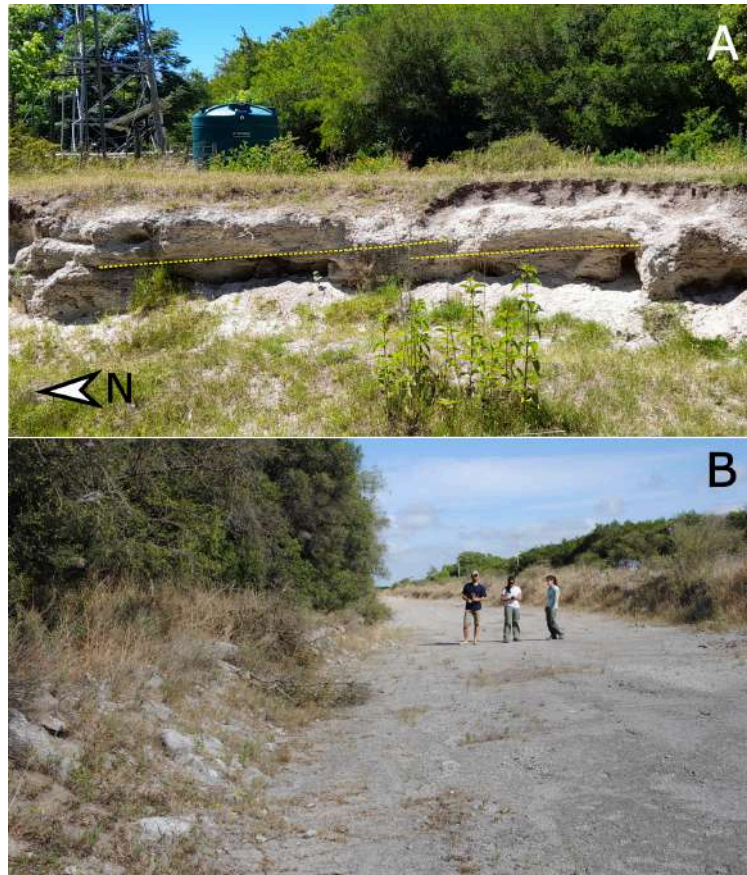


Figura 4.6: vista general de las canteras en la reserva El Destino (A) y cerca de la RP 11 (B).

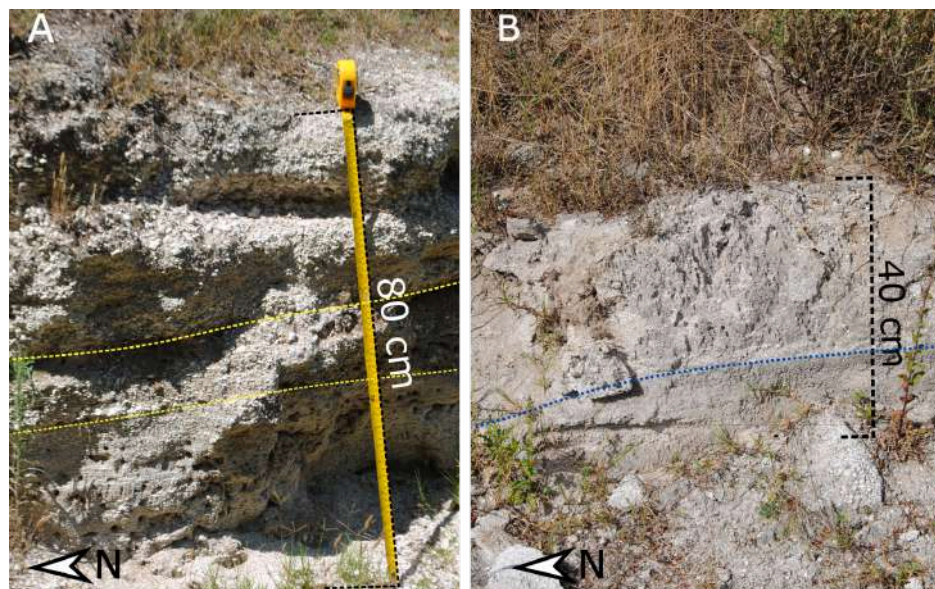


Figura 4.7: detalle de los cordones litorales, en la cantera de la reserva El Destino (A) y cerca de la RP11 (B). Las líneas punteadas separan distintos conjuntos de cordones.

4.2.2 Planicie de marea ascendida

Corresponde al sector más interno de la zona de estudio, principalmente desarrollado en el sector sudoeste de la misma. Esta unidad constituye un sector deprimido caracterizado por la presencia de múltiples canales de hábito sinuoso, correspondientes a antiguos canales de marea. Posee una pendiente muy baja por lo que los bajos topográficos se encuentran frecuentemente inundados durante períodos de precipitaciones. Dichas depresiones tienen formas irregulares a circulares y se interconectan a través de cursos fluviales efímeros y canales de marea (Fig. 4.8).

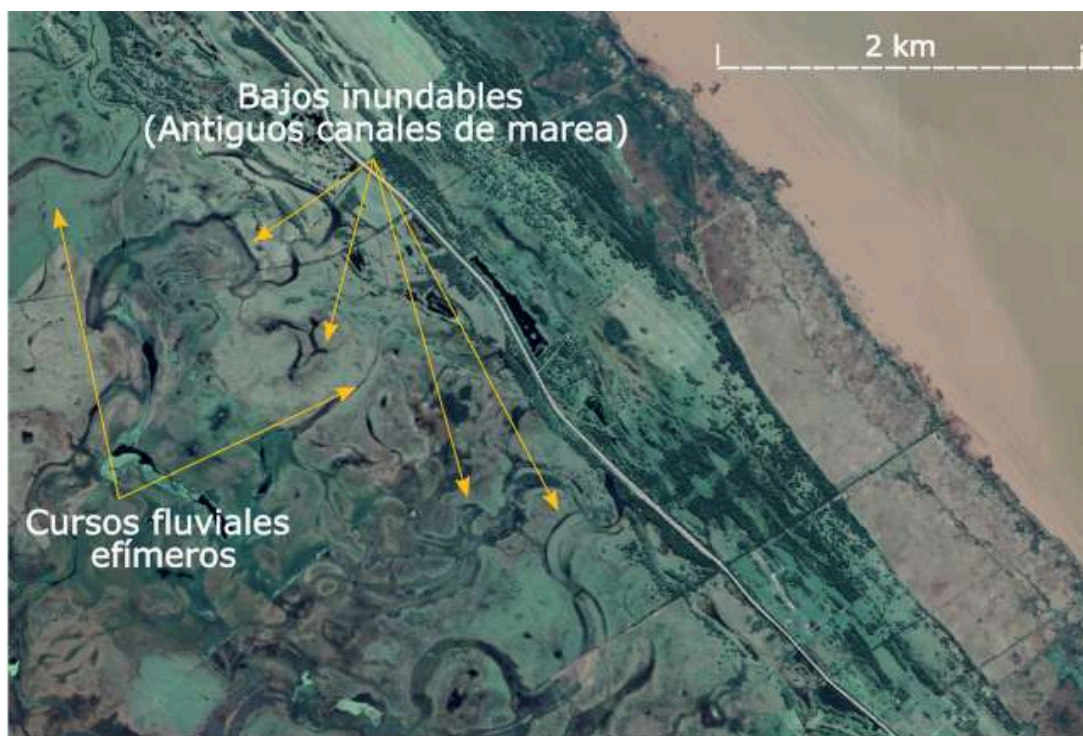


Figura 4.8: Aspecto de la planicie de marea ascendida en imagen satelital. Los sectores inundados corresponden a antiguos canales de marea.

4.3 Proceso fluvial

La totalidad de la zona de estudio se encuentra atravesada por cursos fluviales, tanto de carácter permanente como efímero. Los cursos efímeros aparecen más frecuentemente en los sectores con mayor tendencia al anegamiento como en la planicie de marea ascendida o en los senos de los cordones litorales. Estos cursos son a menudo sinuosos con poco desarrollo longitudinal y poseen su cabecera en el sector de la planicie loésica, que se extiende al oeste de la zona de estudio.

Los cursos permanentes conforman regionalmente una cuenca de drenaje hidrográfica de configuración aproximadamente rectangular y orientación SO-NE, con un diseño de red de tipo dendrítico (Melo, 2019). Esta red está constituida por cursos de hábito sinuoso que escurren desde su cabecera a 20 m s.n.m. en la planicie loésica, hasta su desembocadura en el estuario del Río de la Plata. A una escala local, dentro de la zona de estudio, los cursos fluviales adoptan una orientación aproximadamente N-S, posiblemente condicionados por la deriva litoral y por la presencia de los cordones litorales. Los cursos de mayor importancia son el arroyo Juan Blanco (Fig. 4.9 A), que desemboca algunos kilómetros al sudeste de Magdalena, el arroyo Buñirigo, que lo hace a la altura de la localidad de Atalaya (Fig. 4.9 B), y el arroyo Primera Estancia, con su desembocadura a unos 4 km al noroeste de la Reserva El Destino.



Figura 4.9: desembocadura de los arroyos Juan Blanco (A) y Buñirigo (B) en el estuario del Río de la Plata

4.4 Evolución geomorfológica regional

El estuario de Río de la Plata está ubicado en el borde norte de la Cuenca del Salado, separada de la Cuenca de Punta del Este por el Alto del Plata, el cual a su vez constituye una prolongación del Alto de Martín García (Cavallotto y Violante, 2005). Estas cuencas aulacogénicas tuvieron una evolución independiente durante el Cretácico hasta su unión en el Cretácico Superior, luego de lo cual comenzaron a ser rellenadas por sedimentos terciarios y cuaternarios. La historia geomorfológica del sector costero tiene su origen en la serie de transgresiones y regresiones que se dieron durante ese período comprendido entre el descenso del nivel del mar consecuente a la última glaciación del Pleistoceno y la última transgresión del Holoceno (Cavallotto, 1988; Parker *et al.*, 1987; Parker, 1990; Violante *et al.*, 1992). El desarrollo del paleovalle del Río de la Plata comenzó durante la última regresión pre holocena, momento en el que fue excavado en condiciones subaéreas. Posteriormente, durante la transgresión de la misma época, el paleovalle fue invadido por el mar y comenzó a ser rellenado por sedimentos de origen marino. El encuentro entre las aguas marinas y continentales desencadenó procesos de floculación que generaron un tapón fangoso en el punto de máxima turbidez.

Este valle quedó separado de la depresión del Salado por la Divisoria Punta Piedras-Alto Marítimo, una saliente que se extiende hacia el norte de Punta Piedras. Con el progresivo ascenso del nivel del mar y con una orientación opuesta a la dinámica del oleaje, esta divisoria actuó como un punto de convergencia de las olas, generando los dos sistemas de corrientes litorales que persisten hasta el día de hoy: uno de ellos hacia el NO y otro hacia el SO. Consecuentemente a los niveles alcanzados por el mar, el flujo a través del paleovalle amainó y el río comenzó a fluir también hacia la Cuenca del Salado (Parker y Violante, 1993).

Las corrientes de deriva generadas dieron como resultado la instalación de respectivos sistemas de espigas, que se adosaron a la protopunta, dando origen a las terrazas de acumulación marina. El aumento del nivel del mar provocó el avance de nuevos sistemas de espigas tierra adentro, a medida que se erosionaron los anteriores (Cavallotto 2002). Este avance generaría zonas protegidas abiertas al mar que evolucionaron a llanuras de marea (planicie de marea ascendida).

Entre los 3.000 y 6.000 años AP, luego de alcanzar su máximo nivel, el mar comenzó a descender en distintos pulsos hasta la posición actual generando una secuencia regresiva. Distintos pulsos de aportes de sedimentos generaron

secuencias progradantes de espigas en distintos sectores, cuya extensión y posterior preservación dependieron de su posición con respecto a Punta Piedras.

El último de estos pulsos de descenso se dio a partir de los 3.000 años AP. El tapón fangoso migró hasta su posición actual, acompañado por un importante proceso de agradación costera que generó la proto planicie estuárica, depósitos que conformaron una marisma progradante sometida a la acción mareal. Fue en este momento cuando se instaló un sistema deltaico que interrumpió la dinámica estuárica precedente, posiblemente como consecuencia de un aumento del aporte hídrico y de sedimentos desde el río Paraná, instalándose condiciones fluviales (Cavallotto, 2002)

La evolución actual, explicada en mayor detalle en el Capítulo 9, se caracteriza por un paisaje controlado principalmente por la dinámica estuarina, en la cual influyen el oleaje, las mareas y las tormentas, y en segundo lugar por los procesos fluviales. Las mayores modificaciones se dan por el movimiento de la línea de costa, la cual tiene una dinámica preponderantemente progradante, en la cual los procesos acrecionales generan un desplazamiento neto de la costa hacia el estuario, aunque también se registran retrocesos asociados a erosión.

5. MORFOMETRÍA DE PLAYAS

5.1 Análisis de perfiles topográficos

Se presentan a continuación los resultados del análisis de los cuatro perfiles topográficos obtenidos en la zona de estudio mediante el uso de estación total. La ubicación de los mismos se detalla en la Figura 5.1 y sus coordenadas pueden observarse en la Tabla 5.1.

Los perfiles fueron esquematizados indicando los subambientes y las geoformas características. Las muestras de sedimentos se indican con paréntesis en donde fueron recolectadas. Se indican también los niveles de alta marea de tormentas (AMT), alta marea (AM) y baja marea (BM). Las figuras son acompañadas por fotografías tomadas en cada sector para mejor referencia.

Todos los perfiles se realizaron perpendicularmente a la línea de costa. Los subambientes reconocidos en los perfiles son la planicie estuárica, la playa frontal y la cara de playa.

En todos los casos se tomó el nivel de la marea media como referencia para establecer la altura (0 m) y la línea de costa como referencia para el origen de la distancia horizontal.

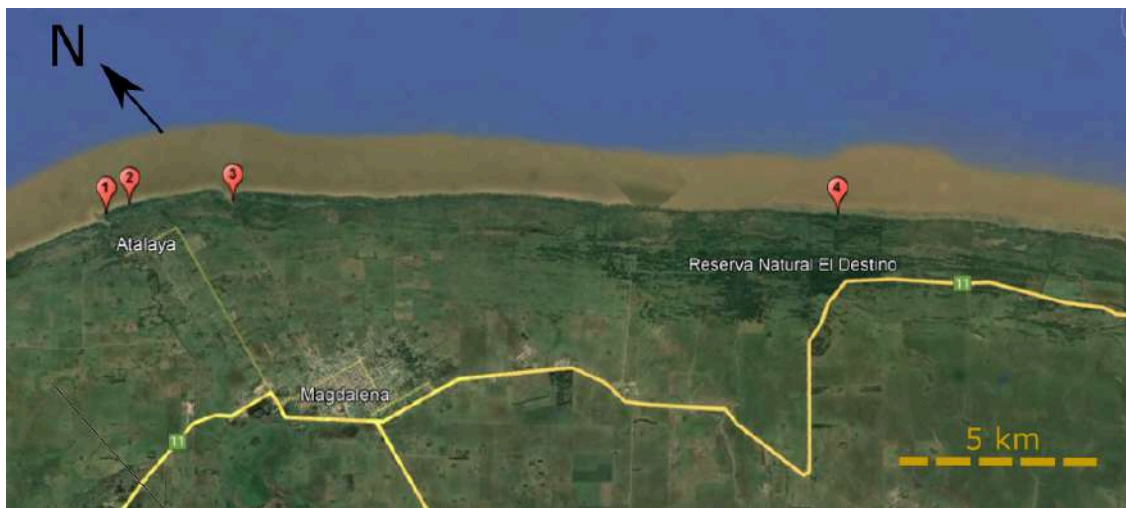


Figura 5.1. ubicación de los perfiles topográficos en el área de estudio.

Perfil	Denominación	Coordenadas
1	Atalaya	35° 0' 49.35" S 57° 32' 3.62" O
2	Bosque Atalaya	35° 0' 56.34" S 57° 31' 39.72" O
3	Magdalena	35° 1' 50.52" S 57° 30' 19.80" O
4	Reserva El Destino	35° 7' 27.78" S 57° 22' 54.25" O

Tabla 5.1. Coordenadas de los perfiles topográficos.

5.1.1 Perfil 1: Atalaya

Este perfil fue relevado en la playa pública de Atalaya, al norte de la localidad. Se ubica a pocos metros al este de la desembocadura arroyo Buñirigo y del espigón que fue construido allí. El perfil tiene una longitud total de 196,8 m y una pendiente media de 0,6°.

Los primeros 50 metros del perfil se desarrollan sobre la planicie estuárica, compuesta esencialmente por sedimentos limo-arcillosos y cubierta de vegetación. Esta posee una pendiente media de 1,87°. La línea de costa está delimitada por una escarpa erosiva. Este resalto, que se observa como el primer quiebre de pendiente importante en el perfil, tiene una altura de aproximadamente 1,5 m. Por delante de la escarpa, en dirección al estuario, se ubica el subambiente de playa frontal, de poco desarrollo en este perfil, con un ancho de alrededor de 6 m y una pendiente media de 0,46°. El subambiente de la cara de playa, de mayor amplitud, ocupa los últimos 140 m del perfil, con una pendiente media muy baja, de 0,19°. En este subambiente pueden observarse tres barras de lavado bien definidas, de geometría asimétrica y longitudes de onda de 31,6 m, 22 m y 27,7 m respectivamente. Las alturas de las mismas aumentan hacia el interior del estuario, midiendo 27 cm, 29 cm y 32 cm.

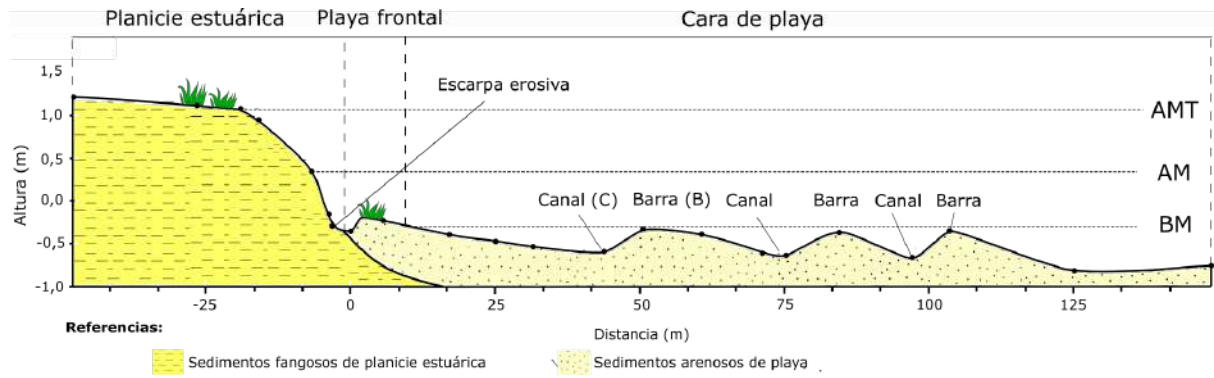


Figura 5.2. Perfil esquemático 1 (arriba) y fotografía tomada en campo, donde se observa el límite entre la planicie estuárica y la playa (abajo).

5.1.2 Perfil 2: Bosque Atalaya

Este perfil se encuentra también en la localidad de Atalaya, a unos 600 m al este del Perfil 1. Este sector es accesible siguiendo la calle General Zapiola a través de una zona boscosa. Tiene una extensión de 162 m y su pendiente media es de $0,68^\circ$. La planicie estuárica posee una extensión de 16 m y una pendiente de $4,7^\circ$. En este caso se observa también la presencia de una escarpa de erosión marcando el límite entre la planicie estuárica y la playa frontal. La misma presenta 1,5 m de altura y se encuentra labrada sobre los sedimentos limo-arcillosos que componen a la planicie (Miembro Canal 15 de la Fm. Canal de las Escobas). Hacia el interior del estuario se identificaron una serie de canales y barras de lavado arenosas asimétricas, sobre las cuales se observa el desarrollo de ondulitas de oleaje. Dichas geoformas se encuentran tanto en el subambiente de playa frontal como el de cara de playa. Las primeras dos barras se encuentran en la playa frontal, la cual presenta un ancho de 32 m y una pendiente media de $0,25^\circ$. Las longitudes de onda de estas barras (ordenadas en dirección al estuario) son respectivamente 32,5 m y 36 m y presentan alturas de 0,17 m y 0,29 m. El subambiente de cara de playa posee un ancho de 67 m aproximadamente y una pendiente media de $0,23^\circ$. En este subambiente se desarrollan dos canales y una tercera barra, que posee una amplitud de 33 m y una altura de 0,27 m.

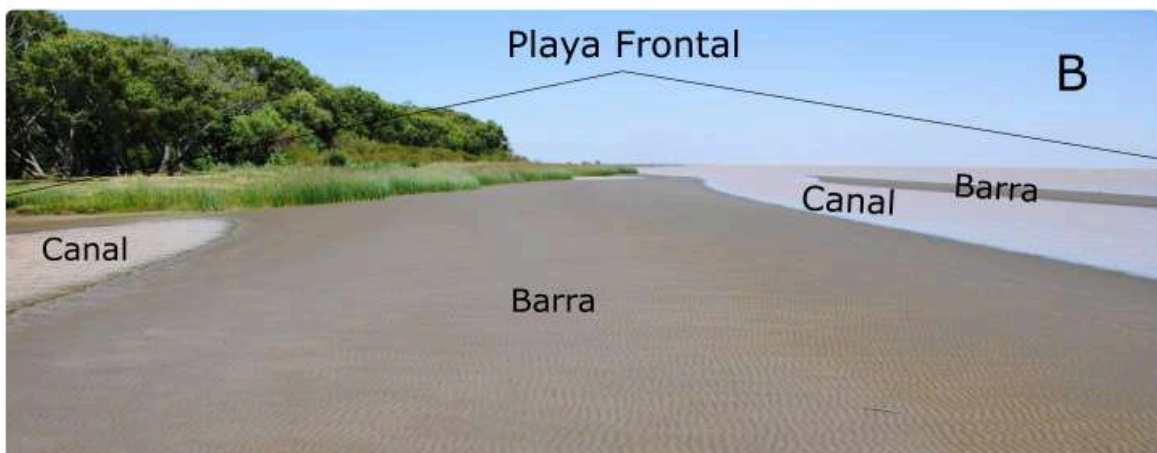
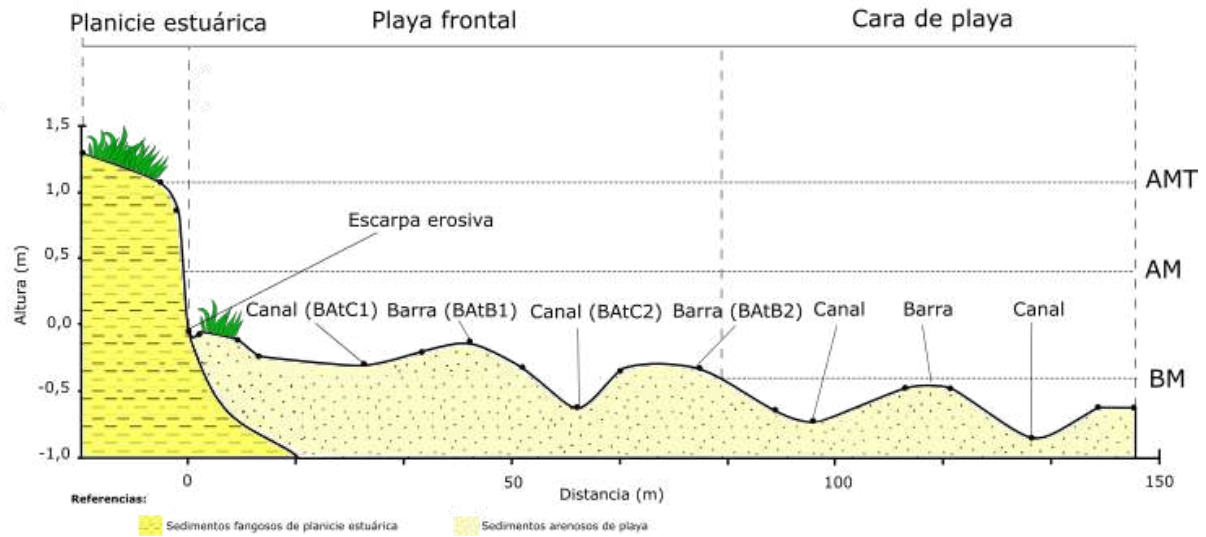


Figura 5.3. Perfil esquemático 2 (arriba) y fotografías tomadas en campo en condiciones de alta marea (A) y baja marea (B) .

5.1.3 Perfil 3: Magdalena

Este perfil se relevó en la zona del balneario municipal de la ciudad de Magdalena, ubicado al norte de la localidad. Se accede al mismo siguiendo la avenida España desde la zona urbana, aproximadamente a 5 km de la misma. En este perfil no se observa el desarrollo de la planicie estuárica, ya que la línea de costa está delimitada por un muro de contención de hormigón de 2,35 m de altura. Al pie de éste se ubica un enrocado, cuyos bloques se elevan a un promedio de 40 cm de altura. Esos bloques son apenas cubiertos por el agua durante los periodos de alta marea y quedan completamente expuestos durante los periodos de baja marea. La totalidad del perfil se desarrolla en el sector de la playa frontal (la cual se encontraba totalmente expuesta el día del muestreo), cubriendo una longitud total de 483,5 m y exhibiendo una pendiente media muy baja, de 0,05. A lo largo del perfil se atravesaron una serie de 7 canales y 7 barras de lavado. Estas presentan variaciones en su longitud de onda, que oscilan entre 18 y 83 metros, con un valor promedio de 43 m. En lo que respecta a las alturas, estas varían entre los 5 y los 19 cm, con un valor promedio de 9 cm. A simple vista puede verse en este sector una playa fundamentalmente arenosa pero con un contenido considerable de sedimentos arcillosos, donde abundan acumulaciones de materia orgánica. Sobre la costa se encuentran poblaciones de vegetación que se adentran varios metros hacia el interior del estuario. Hacia el oeste, a aproximadamente a 50 m del sector donde se realizó el perfil, en los terrenos del Club de Náutica y Pesca, pueden observarse evidencias de carcavamiento por reflujo y fenómenos de expansión lateral afectando a la costa.

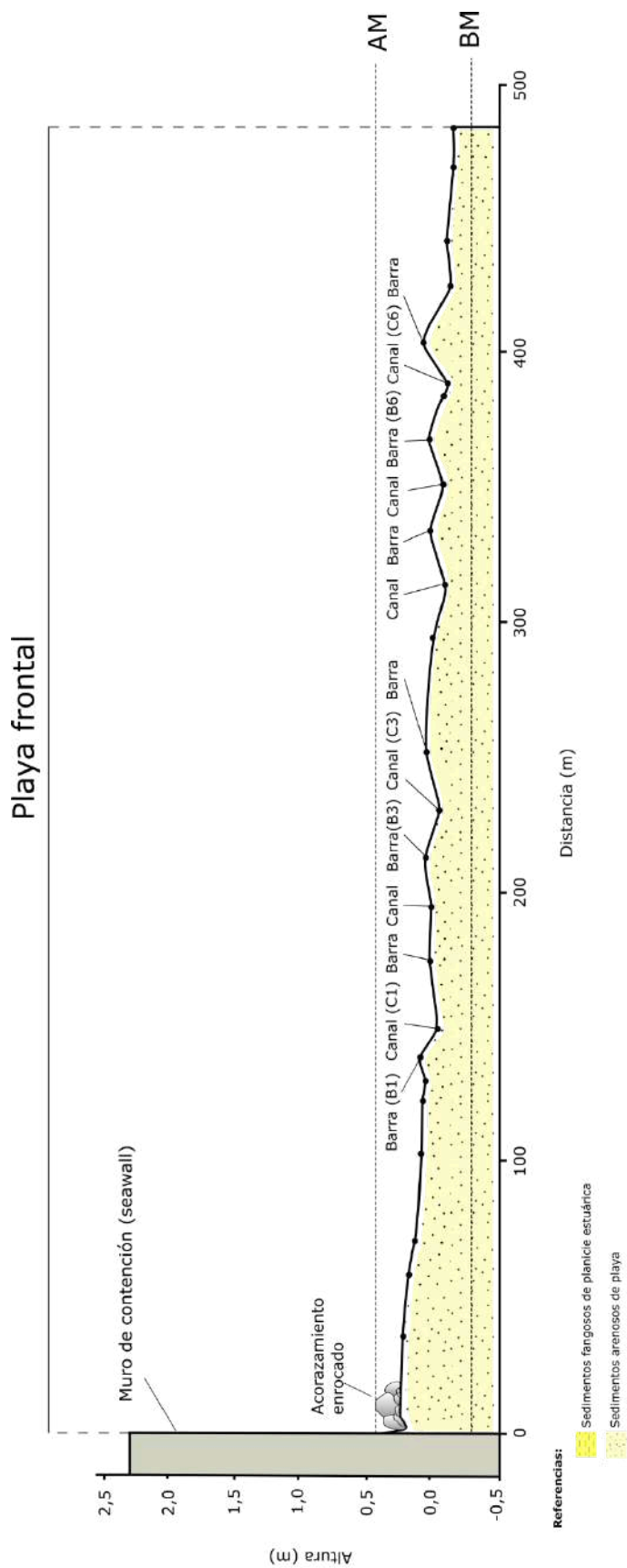


Figura 5.4. Perfil esquemático 3 (izquierda) y fotografías tomadas en campo (derecha); panorámica (A) y detalle del enrocado (B).

5.1.4 Perfil 4: El Destino

Se relevó en el sector costero de la Reserva Natural El Destino, ubicada 18 km al sur de la localidad de Magdalena y accesible desde la misma a través de la RP11. Este perfil posee una extensión de 92 m y una pendiente media de 1.4° . En él puede observarse un sector de planicie estuárica intensamente vegetado, compuesto por sedimentos arcillosos masivos con variable contenido de desechos antrópicos, asignables a la Formación Río Santiago. Estos se encuentran expuestos por la escarpa erosiva que pone el límite entre la planicie estuárica y la playa frontal. Por detrás de la escarpa, sobre la planicie, puede observarse el límite del nivel de mareas de tormenta, evidenciado por acumulaciones de restos vegetales y antrópicos. La planicie estuárica posee una pendiente media de 2.4° . Por delante de la escarpa de erosión, se desarrolla el sector de la playa frontal, el cual tiene una extensión de 7 m aproximadamente, con una pendiente de 5.3° . La vegetación sigue haciéndose presente de forma esporádica dentro de este subambiente. Hacia el interior del estuario se identifica la cara de playa, cuyo ancho ocupa los 62 m restantes del perfil y posee una pendiente media de 0.5° . Dentro de este subambiente se encuentran dos barras de lavado arenosas, las cuales alternan con dos canales. La barra más cercana a la costa exhibe una geometría simétrica, con una longitud de onda de 32 m y una altura de 23 cm. La segunda es más bien asimétrica y posee una longitud de onda de 29 m y una altura de 28 cm.

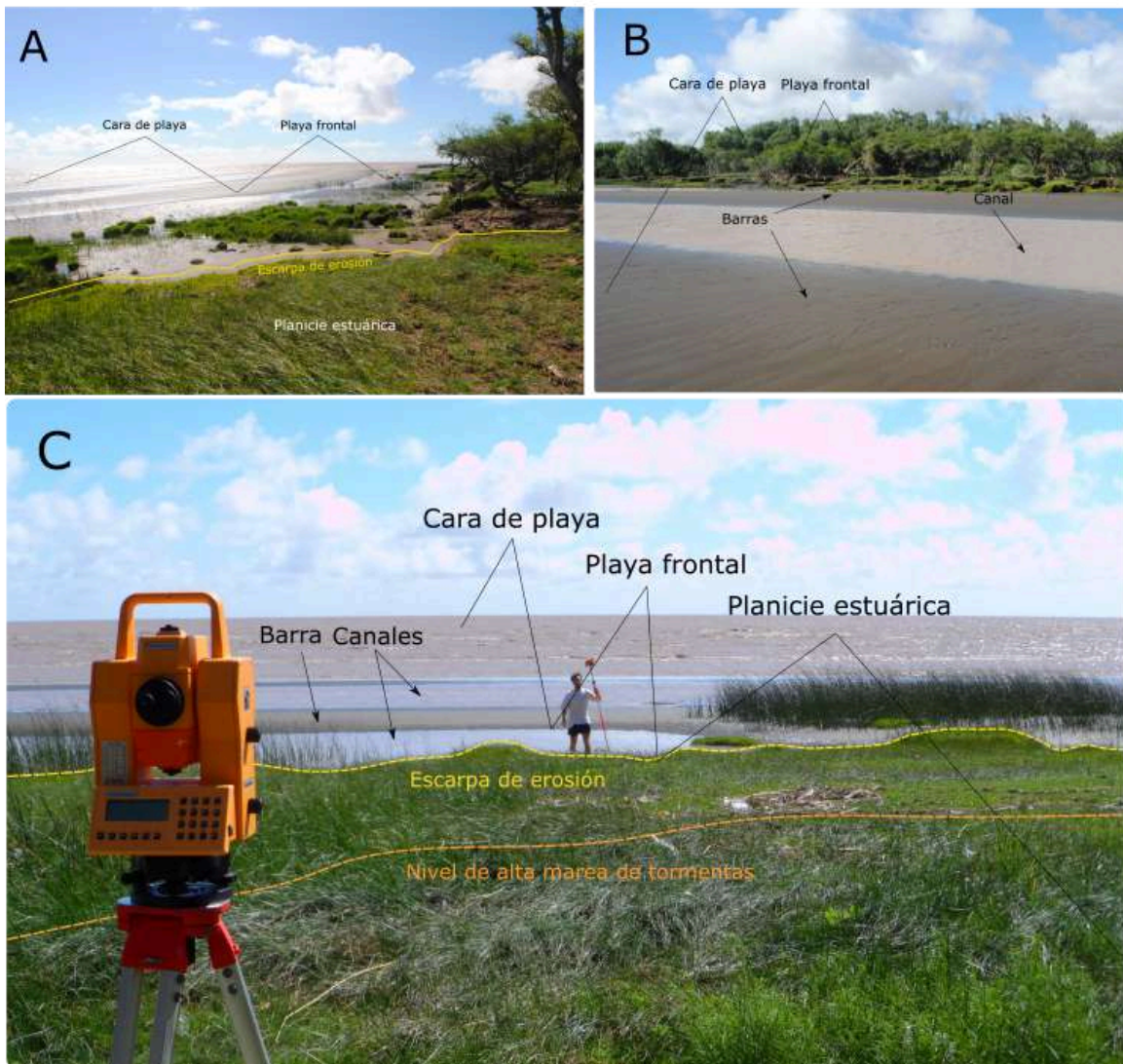
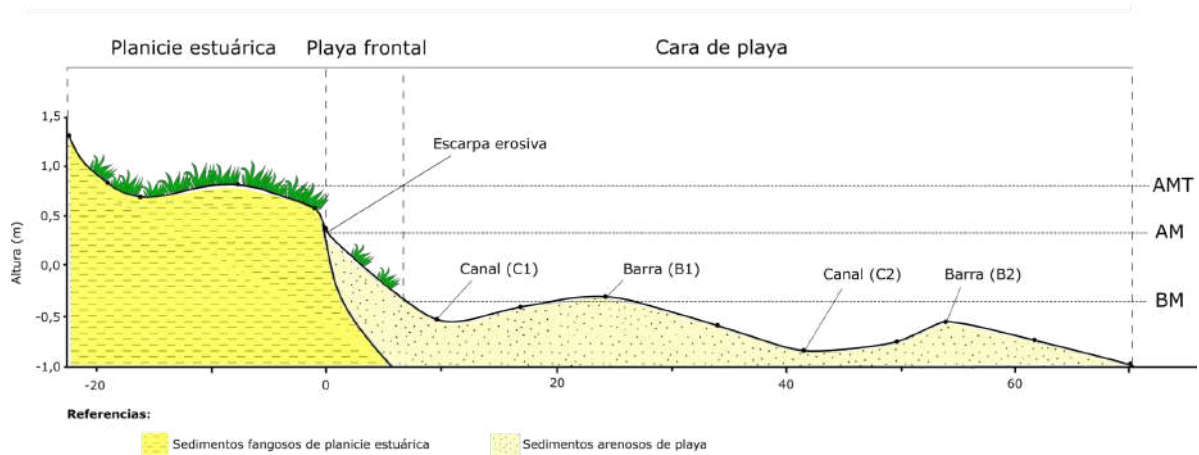


Figura 5.5. Perfil esquemático 4 (arriba) y fotografía tomadas en campo donde pueden observarse desde distintos ángulos los límites de la planicie estuárica y la playa, las geoformas y el nivel de alta marea de tormentas.

5.2 Interpretación

La observación de los los parámetros permite concluir que:

- Si bien no atraviesa ninguna estructura antrópica, el perfil 1 se encuentra cerca de un sector modificado por el hombre en donde se halla un espigón, lo cual podría influir en su dinámica. Los perfiles 4 y 2 están relativamente alejados de la intervención antrópica. El perfil 3 es el que mayor modificación presenta, con un muro de contención y un enrocado que se colocaron como medidas de protección costeras en el balneario.
- Todos los perfiles, a excepción del perfil 3, tienen desarrollo de los subambientes de planicie estuárica, playa frontal y cara de playa. El límite entre la planicie estuárica y la playa frontal está delimitado por una escarpa erosiva, cuya altura varía entre 0,3 y 1,5 m.
- No se observan tendencias regionales que permitan correlacionar los anchos de playa o sus pendientes con la latitud a la que se encuentran los perfiles (Fig. 5.7 y 5.8). El perfil 4, posee el menor ancho de playa frontal y la mayor pendiente en este subambiente, mientras que el balneario de Magdalena (perfil 3), posee el mayor desarrollo del ancho de la playa frontal y la menor pendiente en este subambiente, aunque esto último está influenciado por la gran distancia horizontal cubierta en el relevamiento (Fig. 5.6).
- En la zona del perfil 3, la playa posee muy baja profundidad en condiciones de baja marea, incluso varios cientos de metros hacia el interior del estuario. Esta característica lo diferencia del resto de los sectores, y podría tener que ver con una dinámica depositacional alterada por las estructuras de protección que allí se encuentran colocadas. Otra característica distintiva es la depositación de material fino en la costa y la presencia de vegetación varios metros hacia el interior del estuario, que también podrían ser evidencia de esta dinámica alterada.

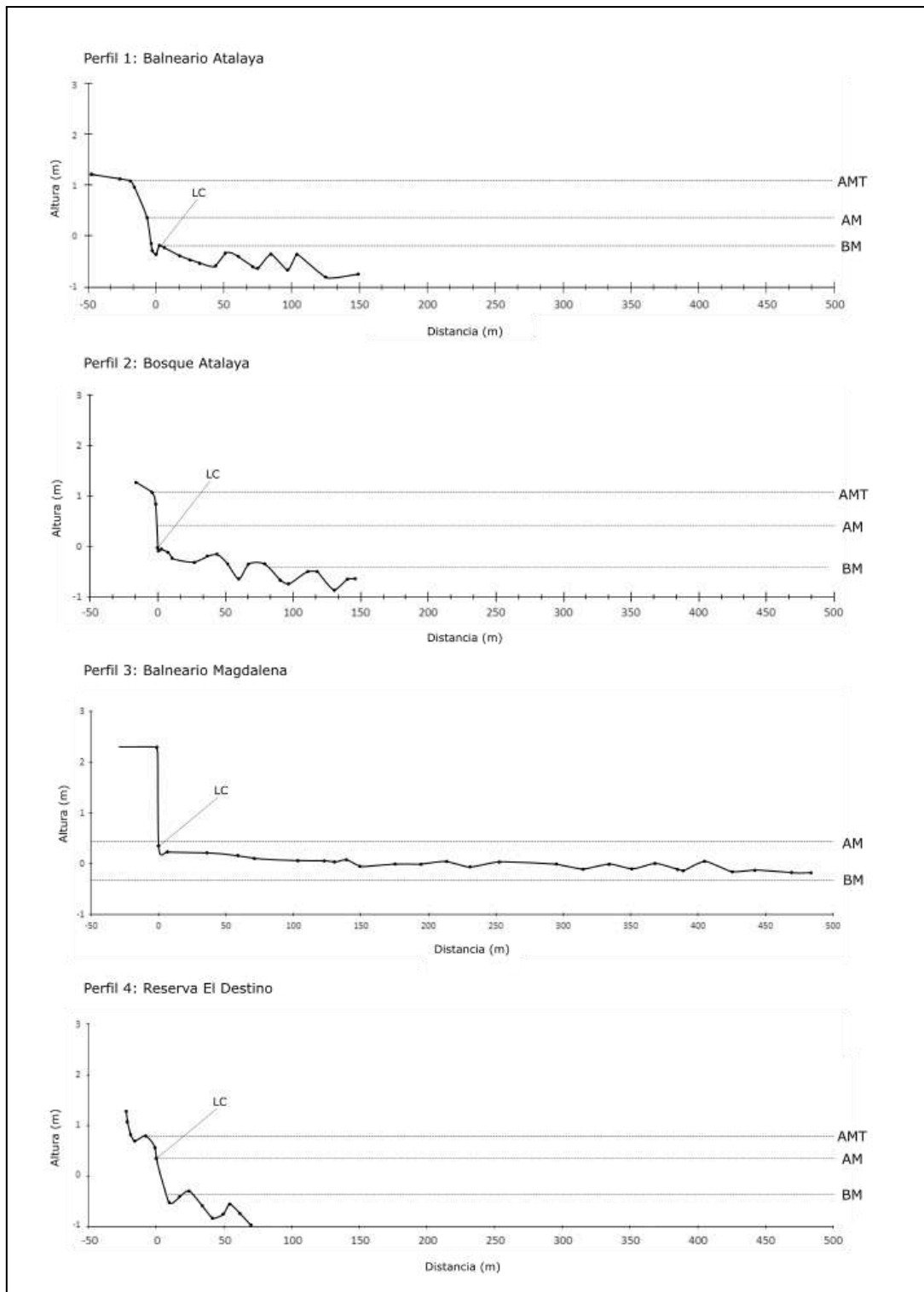


Figura 5.6. Comparación de los 4 perfiles topográficos presentados en escalas equivalentes.

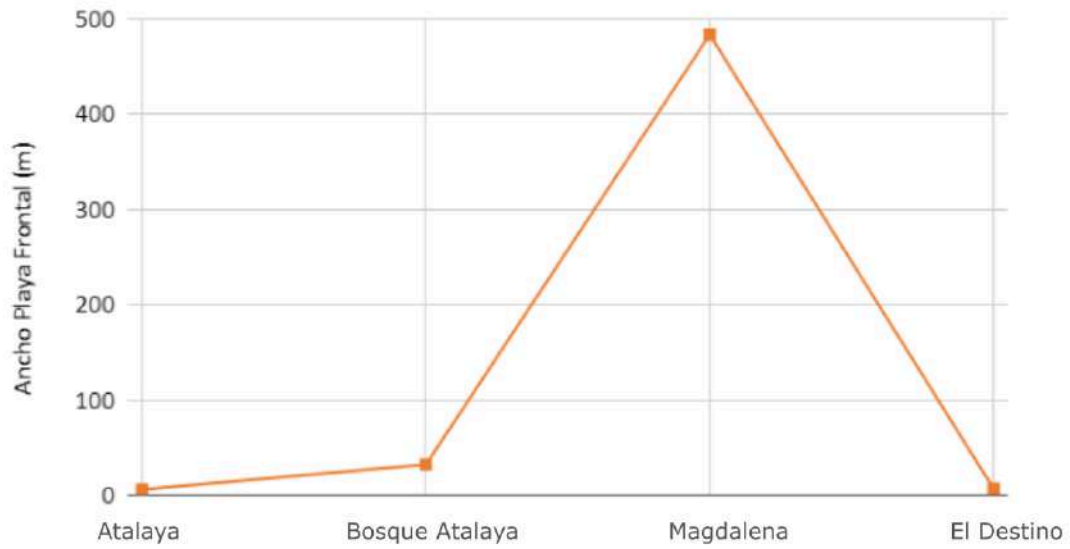


Figura 5.7. Anchos de playa frontal en los perfiles topográficos, ordenados de norte a sur

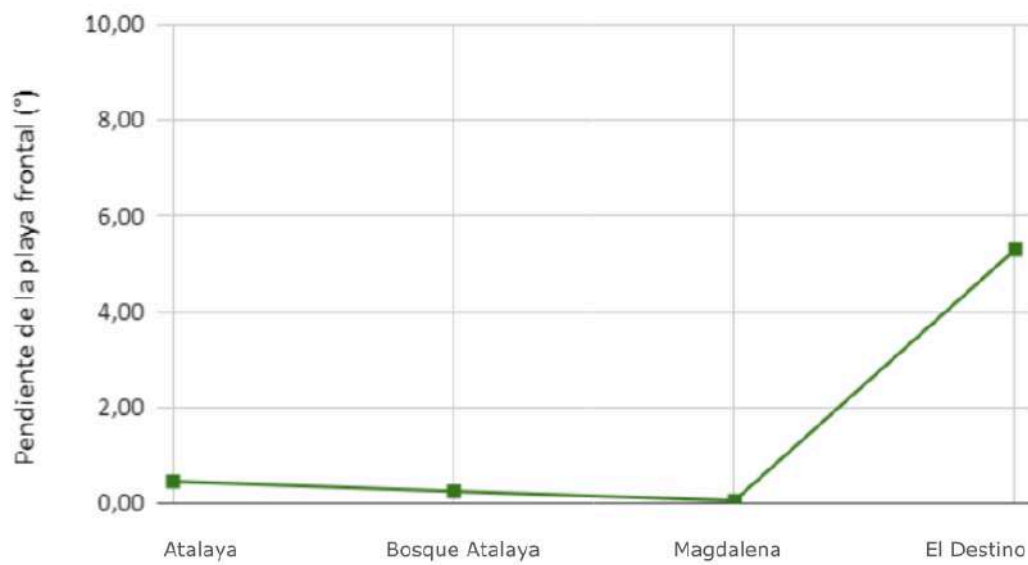


Figura 5.8. Pendientes de la playa frontal en los distintos perfiles, ordenados de norte a sur

6. ANÁLISIS TEXTURAL DE LOS SEDIMENTOS

Se realizó un análisis granulométrico realizado en un total de 14 muestras obtenidas en los ambientes de playa frontal y cara de playa de los perfiles relevados en la zona de estudio. La nomenclatura de cada muestra se asignó de acuerdo la geoforma en donde fueron tomadas, barras de lavado o canales (denominados “B” o “C” respectivamente), y enumeradas relativamente a su distancia horizontal en el perfil, tal como se detalla en la Tabla 6.1.

Perfil	Subambiente	Muestra	Morfología
Atalaya	Cara de playa	AtC	Canal
		AtB	Barra
Bosque Atalaya	Playa frontal	BAtC1	Canal
		BAtB1	Barra
		BAtC2	Canal
		BAtB2	Barra
Magdalena	Playa frontal	MC1	Canal
		MB1	Barra
		MB2	Barra
		MC3	Canal
		MB3	Barra
El Destino	Cara de playa	EDC1	Canal
		EDB1	Barra
		EDC2	Canal
		EDB2	Barra

Tabla 6.1. Nomenclatura de las muestras, se indica el perfil, subambiente y morfología en la que fueron tomadas.

Se calcularon parámetros estadísticos como la moda, la media, la mediana, la selección, la curtosis y la asimetría para analizar la distribución de las muestras y proceder a su clasificación de acuerdo a los criterios de Folk y Ward (1954). Se utilizó la escala Udden-Wentworth como escala granulométrica. Asimismo, se obtuvieron curvas de frecuencia acumulada con el fin de identificar los distintos mecanismos de transporte mediante los cuales se movilizaron las distintas poblaciones de sedimentos.

Los parámetros estadísticos son resumidos en las tablas 6.2, 6.3 y 6.4.

Perfil	Número	Subambiente	Muestra	Media	Moda 1	Moda 2	Moda 3	Curtósis	Selección	Asimetría
Atalaya	1	Cara de playa	AtC	3.5	3.5			ML	MBS	S
			AtB	3.5	3.5			M	MBS	S
Bosque Atalaya	2	Playa frontal	BAtC1	3	3.5			M	MBS	AN
			BAtB1	3	3			P	MBS	AP
			BAtC2	3	3			M	BS	AP
			BAtB2	3	3.5			P	MBS	S
Magdalena	3	Playa frontal	MC1	3	4.5	3.5	2.5	P	MS	AN
			MB1	3	3	4.5	-2	EL	PS	AN
			MB2	3.5	3			M	BS	AP
			MC3	3	3.5			ML	BS	AN
			MB3	3	3.5			ML	BS	AN
El Destino	4	Cara de playa	EDC1	3	3			ML	MBS	AN
			EDB1	3	3.5			P	MBS	S
			EDC2	3	3			EL	PS	AN
			EDB2	3	3			M	MBS	S

Tabla 6.2. Parámetros estadísticos de las muestras.

Referencias:

EL: extremadamente leptocúrtica, ML: muy leptocúrtica, M: mesocúrtica, P: Platicúrtica.

MBS: Muy bien seleccionado, BS: Bien seleccionado, MS: Moderadamente seleccionado, PS: pobremente seleccionado.

S: simétrico, AN: asimetría negativa, AP: asimetría positiva.

Perfil	Número	Subambiente	Muestra	Grava fina	Grava muy fina	Arena muy gruesa	Arena gruesa	Arena mediana	Arena fina	Arena muy fina	Limo/ arcilla
Atalaya	1	Cara de playa	AtC						10,7%	86,4%	2,9%
			AtB						6,5	93,5%	
Bosque Atalaya	2	Playa frontal	BAtC1						31,4%	67,3%	1,2%
			BAtB1						57,0%	42,5%	0,3%
			BAtC2						50,9%	46,5%	2,5%
			BAtB2						42,8%	56,6%	0,5%
Magdalena	3	Playa frontal	MC1		0,1%	0,3%	1,2%	8,1%	30,0%	34,3%	25,9%
			MB1	5,5%	0,3%	0,3%	0,6%	2,2%	44,2%	36,8%	10,2%
			MB2					0,5%	51,2%	45,1%	3,2%
			MC3			0,1%	0,4%	1,6%	23,9%	68,7%	5,2%
			MB3				0,1%	1,0%	20,1%	78,0%	0,7%
El Destino	4	Cara de playa	EDC1			0,2%	0,2%	5,3%	88,5%	4,7%	1,2%
			EDB1		0,3%	0,1%	0,3%	1,5%	93,5%	3,4%	1,0%
			EDC2	6,6%	1,7%	0,3%	0,5%	2,5%	8,9%	75,2%	4,3%
			EDB2					0,3%	93,1%	5,9%	0,7%

Tabla 6.3. Clasificación granulométrica de los distintos sedimentos y su porcentaje en cada muestra.

Perfil	Número	Subambiente	Muestra	Tracción		Saltación		Suspensión	
				Phi	%	Phi	%	Phi	%
Atalaya	1	Cara de playa	AtC	1 - 2.5	0.3	2.5 - 4	98	4 - 4.5	1.7
			AtB	2 - 2.5	0.1	2.5 - 4	99.2	4 - 4.5	0.7
Bosque Atalaya	2	Playa frontal	BAtC1	1 - 2,5	0.4	2.5 - 4	98.5	4 - 4.5	1.1
			BAtB1	1,5 - 2,5	0.4	2.5 - 4	97	4 - 4.5	2.6
			BAtC2	1 - 2,5	0.4	2.5 - 4	97	4 - 4.5	2.6
			BAtB2	1,5 - 2,5	0.3	2.5 - 4	99.2	4 - 4.5	0.5
Magdalena	3	Playa frontal	MC1	-1 - 1.5	3	1.5 - 4	73	4 - 4.5	24
			MB1	-2 - 2	10	2 - 4	80	4 - 4.5	10
			MB2	1,5 - 2,5	3	2.5 - 4	93	4 - 4.5	4
			MC3	-0.5 - 2.5	6	2.5 - 4	88	4 - 4.5	6
El Destino	4	Cara de playa	MB3	1 - 2.5	5	2.5 - 4	94.2	4 - 4.5	0.8
			EDC1	-1 - 2.5	6	2.5 - 4	92.7	4 - 4.5	1.3
			EDB1	-1.5 - 2.5	3	2.5 - 4	96	4 - 4.5	1
			EDC2	-2 - 3	19	3 - 4	76	4 - 4.5	5
			EDB2	-1.5 - 2.5	0.8	2.5 - 4	98.6	4 - 4.5	0.6

Tabla 6.4. Porcentaje de cada muestra transportado por los distintos mecanismos de transporte según su granulometría.

6.1 Perfil 1: Atalaya

Estas muestras corresponden respectivamente a un canal (AtC) y a una barra (AtB) ubicados en el subambiente de cara de playa. Ambas muestras poseen distribuciones granulométricas similares. Las mismas son unimodales, simétricas y muy bien seleccionadas, con una moda en $\phi 3,5$ (arena muy fina), correspondiente en el caso del canal al 75,5% de la muestra y al 86% en el caso de la barra. La curtosis es el parámetro más variable. La barra muestra distribución mesocúrtica mientras que en el canal es muy leptocúrtica. En las curvas de frecuencia acumulada se observa que la muestra AtC presenta un transporte por tracción en los sedimentos de $\phi 1$ a $\phi 2,5$, correspondientes al 0,3% del total, mientras que en la muestra AtB este mecanismo abarca los sedimentos de $\phi 2$ a $\phi 2,5$, y representa un porcentaje menor al 0,1%. El transporte por saltación abarca aproximadamente el 98% de la muestra AtC y más del 99% de la muestra AtB y en ambas corresponde a los sedimentos entre $\phi 2,5$ y $\phi 4$. Este intervalo presenta un truncamiento interno en $\phi 3,5$ en las dos muestras. El intervalo correspondiente al transporte por suspensión involucra sedimentos muy finos desde $\phi 4$ y representa un 0,7% de la muestra AtB y un 2% de la muestra AtC.

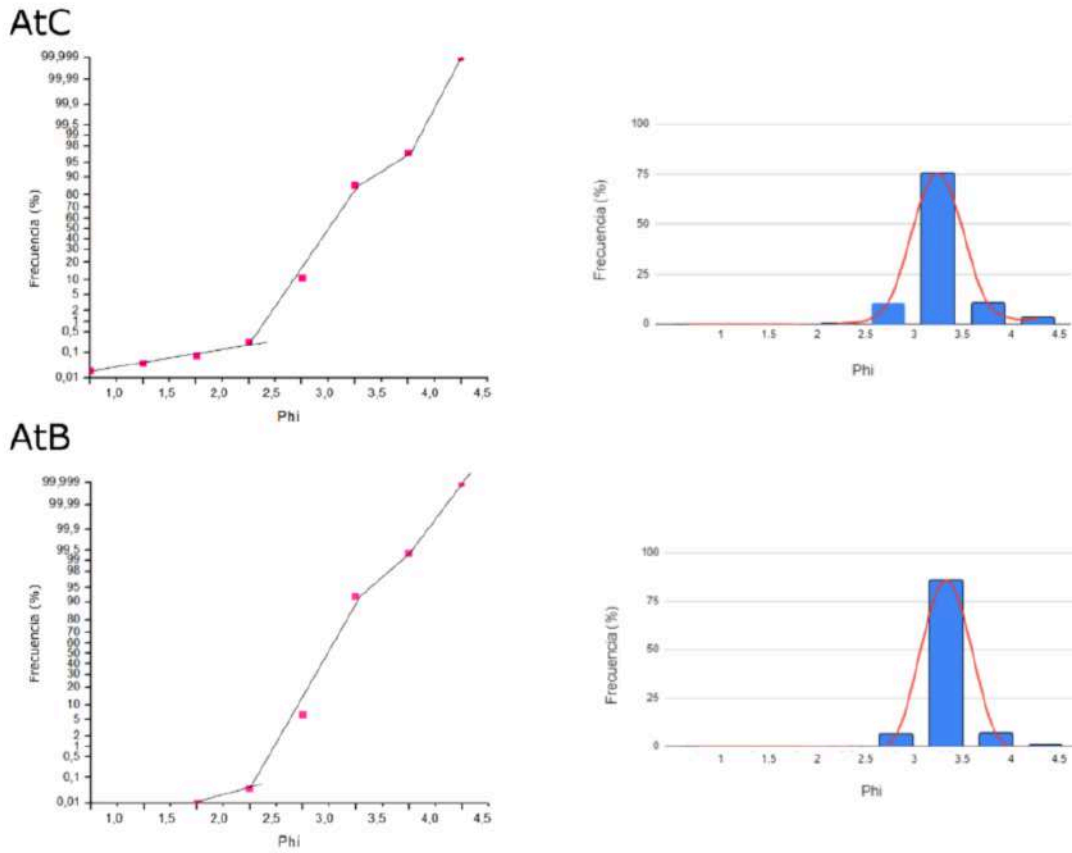


Figura 6.1. Curvas de frecuencia acumulada (izquierda) e histograma de frecuencia absoluta (derecha) para las muestras AtC y AtB.

6.2 Perfil 2: bosque Atalaya

Se cuenta para este sector con 4 muestras tomadas en el subambiente de playa frontal. Dos de ellas corresponden a barras de lavado (BA_tB1 y BA_tB2) y las otras dos a canales (AtC1 y AtC2). Todas las muestras poseen una distribución unimodal. Las muestras AtC1 y BA_tB2 poseen una moda en $\phi_{3,5}$ (arena muy fina), mientras que AtC2 y BA_tB1 poseen una moda en ϕ_3 (arena fina). Las muestras de ambas barras y el canal AtC1 están muy bien seleccionadas mientras que AtC2, correspondiente al segundo canal, está bien seleccionada. En cuanto a la curtosis y la simetría, la muestra AtC1 es leptocúrtica con una asimetría negativa, BA_tB1 es platicúrtica y muestra una asimetría positiva, AtC2 es mesocúrtica y también muestra una asimetría positiva, mientras que BA_tB2 es platicúrtica y simétrica.

Las curvas de frecuencia acumulada muestran un transporte por tracción en el intervalo de ϕ_1 a $\phi_{2,5}$ para los canales, representando un 0,4% de los sedimentos de las muestras AtC1 y AtC2. Para las barras este intervalo se encuentra entre $\phi_{1,5}$ y $\phi_{2,5}$ y abarca un porcentaje similar. El transporte por saltación es el de mayor importancia en todas las muestras, abarcando el intervalo desde $\phi_{2,5}$ a ϕ_4 (arena fina a muy fina), en todos los casos este intervalo muestra un truncamiento interno. En el caso de los canales, corresponde a alrededor del 98% de los sedimentos, mientras que para la barra 1 corresponde al 96,5% y en la barra 2 al 99%. Finalmente, el transporte por suspensión se encuentra por encima de ϕ_4 para todas las muestras y no supera el 3% del total.

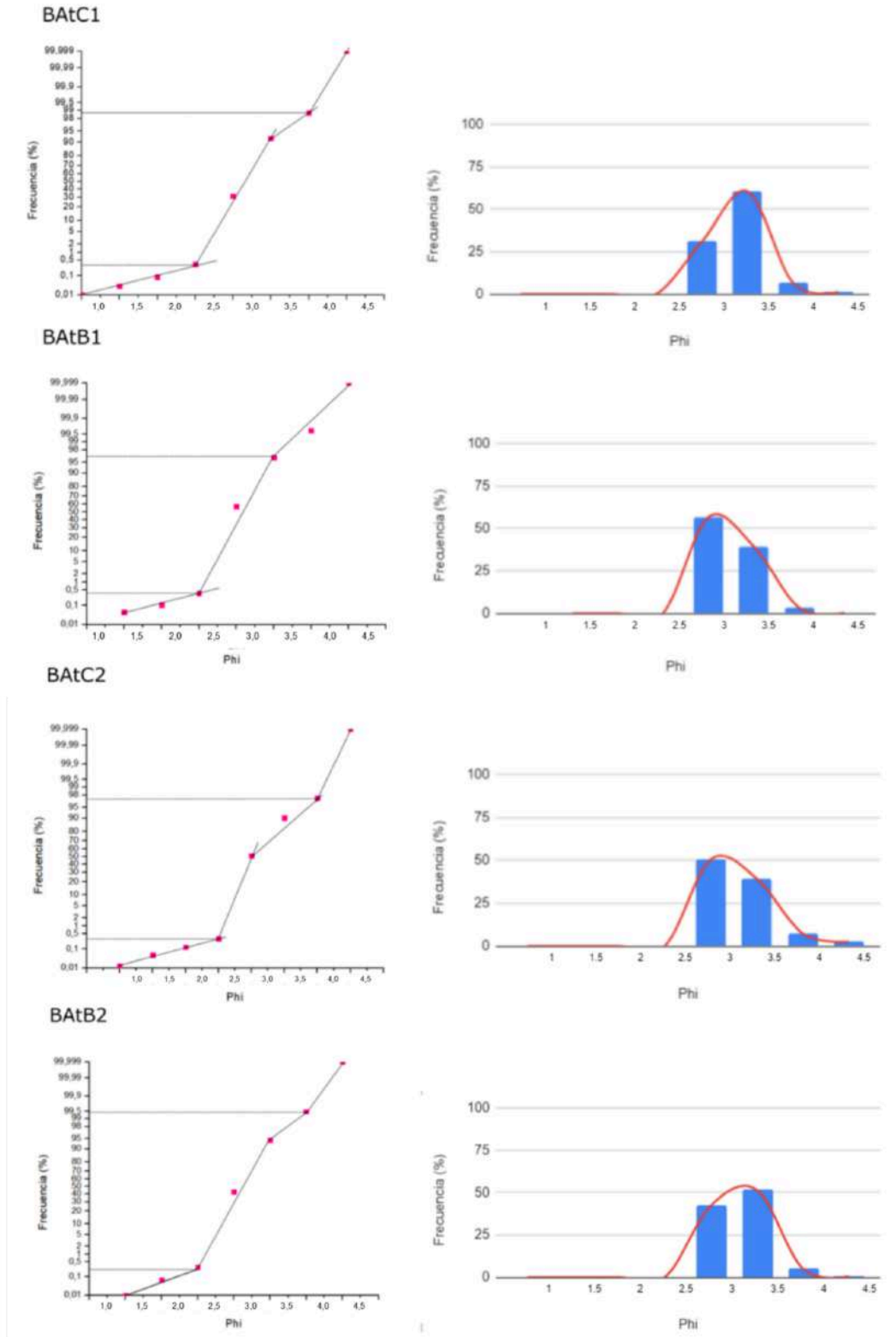


Figura 6.2. Curvas de frecuencia acumulada (izquierda) e histograma de frecuencia absoluta (derecha) para las muestras BAAtC1, BAAtB1, BAAtC2 y BAAtB2.

6.3 Perfil 3: Magdalena

Se tomaron 5 muestras, correspondientes a una serie de canales y barras de lavado, tomadas en el subambiente de playa frontal. Los canales corresponden a las muestras MC1 y MC3 y las barras a las muestras MB1, MB2 y MB3.

La muestra MC1 exhibe una selección moderada y una distribución asimétrica negativa, platicúrtica y polimodal, con modas en $\phi 2,5$ (arena fina), $\phi 3,5$ (arena muy fina) y $\phi 4,5$ (limo), siendo esta última la principal, concentrando alrededor del 28% del total. La muestra MC3 es unimodal y bien seleccionada. Muestra una asimetría negativa y es muy leptocúrtica.

En cuanto a las barras, la muestra MB1 es polimodal, con modas en $\phi 2$, $\phi 3$ y $\phi 4,5$, siendo la más importante la de $\phi 3$ (arena fina), con cerca del 35%. Posee una pobre selección y una distribución asimétrica negativa, extremadamente leptocúrtica. MB2 posee un carácter unimodal, con una moda en $\phi 3$ (arena fina), correspondiente al 48% de los datos. Se encuentra bien seleccionada y su distribución es mesocúrtica con una asimetría positiva. La muestra MB3 posee una distribución unimodal, con moda en $\phi 3,5$ (arena muy fina) que concentra el 60% del total. Posee buena selección y es muy leptocúrtica con asimetría negativa.

El truncamiento grueso se encuentra ubicado entre 1,5 y 2,5 phi y las muestras presentan transporte por tracción entre 3 y 10% (siendo este valor más alto en la barra correspondiente a la muestra MB1). La saltación domina ampliamente en todas las muestras, abarcando tamaños de grano desde arenas medianas (1,5 phi) hasta arenas muy finas (4 phi). En la mayoría de las muestras la saltación representa más del 80%. El truncamiento fino se ubica en 4 phi para todas las muestras y, salvo a excepción de la muestra MC1 (en la cual se calcula un 24% de transporte por suspensión), no sobrepasa el 10% del total.

Estas muestras tienen una distribución

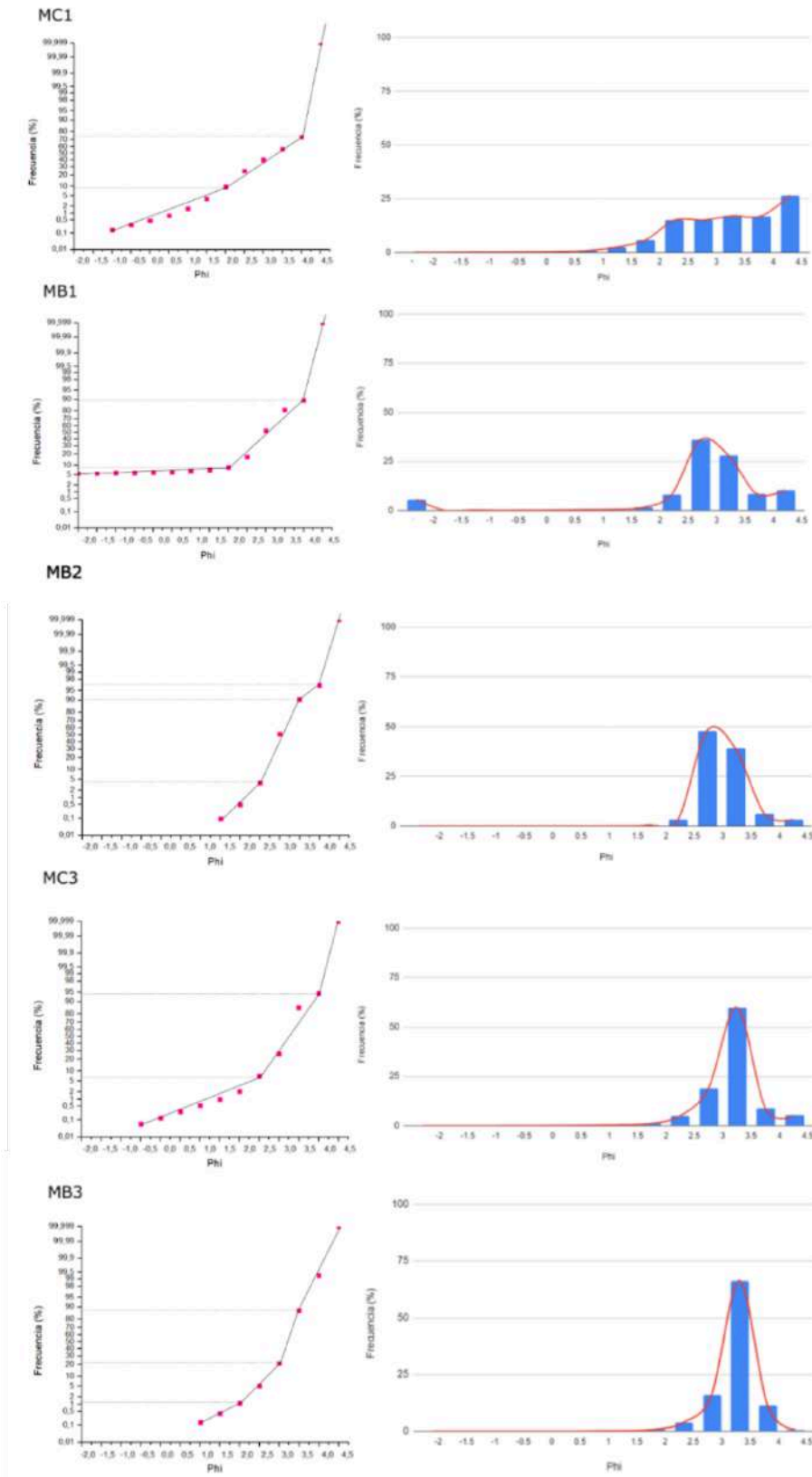


Figura 6.3. Curvas de frecuencia acumulada (izquierda) e histograma de frecuencia absoluta (derecha) para las muestras MC1, MB1, MB2, MC3 y MB3.

6.4 Perfil 4: Reserva El Destino

Las cuatro muestras obtenidas a lo largo de este perfil fueron tomadas en el subambiente de cara de playa. Se cuenta con dos muestras tomadas en barras de lavado (EDB1, EDB2) y dos muestras tomadas en canales (EDC1 y EDC2). Todas las distribuciones son unimodales. Las muestras EDC1, EDB1 y EDB2 poseen una moda en ϕ_3 (arena fina) y muy buena selección, mientras que la muestra EDC2 tiene una moda en $\phi_{3,5}$ (arena muy fina) y está pobremente seleccionada. Las fracciones modales en las barras concentran más del 90% del peso total, mientras que en los canales es más variable. En este sentido se puede observar que en la muestra EDC1 el 87% del peso total se encuentra en la moda de ϕ_3 , mientras que en la muestra EDC2 la clase modal de $\phi_{3,5}$ abarca el 67%.

Ambas barras poseen una distribución simétrica pero difieren en su curtosis, siendo EDB1 platicúrtica y EDB2 mesocúrtica. En cuanto a los canales, la distribución de la muestra EDC1 es muy leptocúrtica, mientras que la de EDC2 es extremadamente leptocúrtica. Ambos canales muestran una asimetría negativa.

Las curvas de frecuencia acumulada muestran nuevamente un transporte dominado por la saltación a lo largo de este perfil. Los sedimentos transportados por tracción son aquellos con tamaños mayores a $\phi_{2,5}$ en el caso de las muestras EDC1, EDB1 y EDB2 y corresponden respectivamente al 6%, 3% y 0,7%. En la muestra EDC2, correspondiente al segundo canal, la tracción domina en los sedimentos entre ϕ_{-2} y $\phi_{2,5}$, correspondientes al 12% de la muestra.

Las granulometrías entre $\phi_{2,5}$ y ϕ_4 son transportadas por saltación en las muestras EDC1, EDB1 y EDB2, mientras que en la muestra EDC2 este mecanismo actúa en el intervalo $\phi_{2,5}$ a ϕ_4 . Este intervalo es equivalente a un 93% en EDC1, un 96% en EDB1, un 99% en EDB2 y un 77% en EDC2. Por último, el transporte por suspensión, que en todas las muestras actúa sobre los sedimentos entre ϕ_4 y $\phi_{4,5}$ corresponde a alrededor de un 1% en las muestras EDC1, EDB1 y alrededor de 0,5% en EDB2, mientras que en EDC2 es considerablemente mayor, con un 5%.

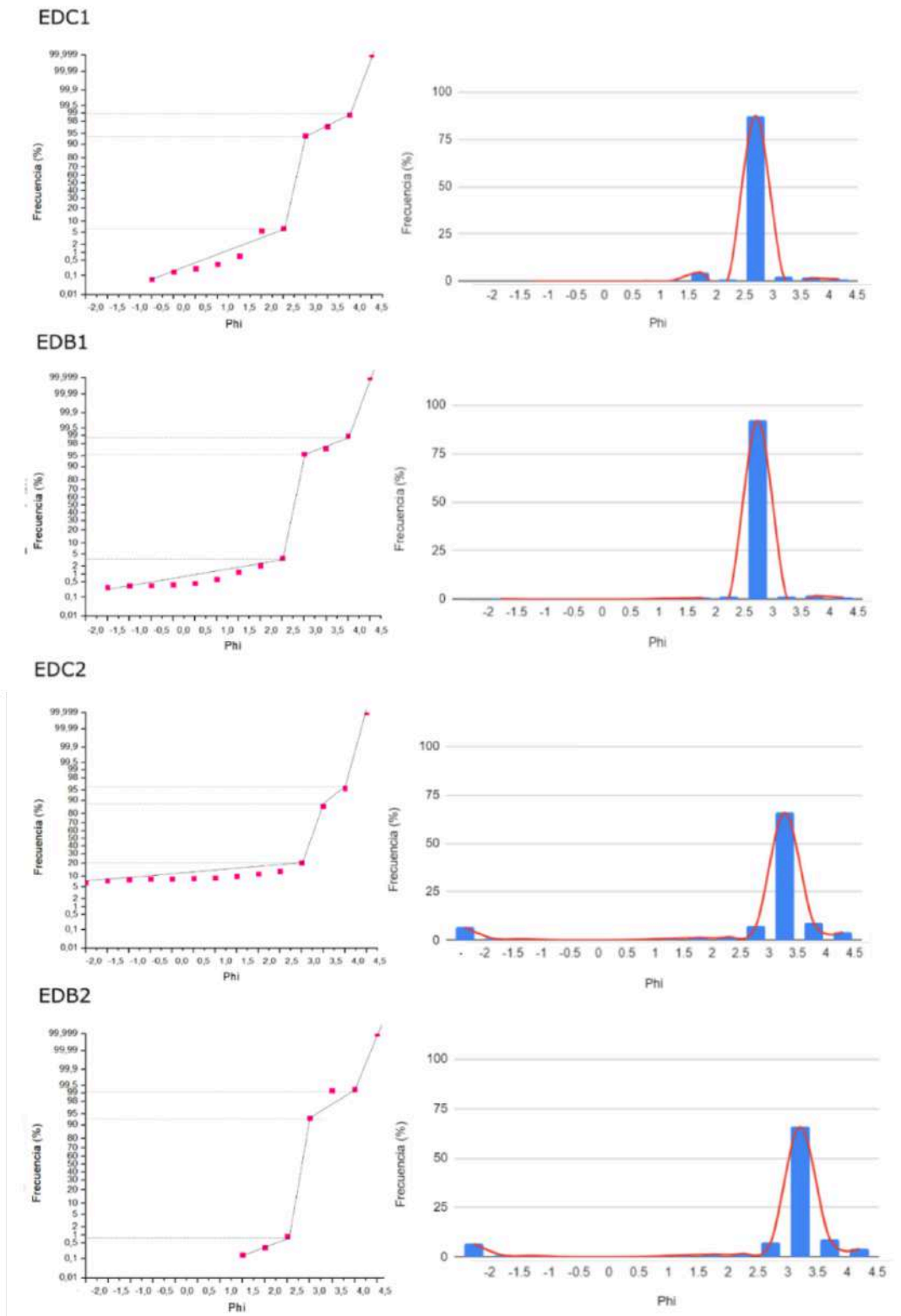


Figura 6.4. Curvas de frecuencia acumulada (izquierda) e histograma de frecuencia absoluta (derecha) para las muestras EDC1, EDB1, EDC2 y EDB2.

6.6 Clasificación textural

La clasificación textural de las muestras obtenida mediante el software Gradistat (Fig. 6.5), grafica a la mayoría de estas en el campo de las arenas, con algunas excepciones, como las muestras MC1 y MB1 del perfil 3, que se ubican en los campos de “arena fangosa” y “arena fangosa ligeramente gravosa”, o la muestra EDC2 del perfil 4, que se clasifica como una “arena gravosa”.

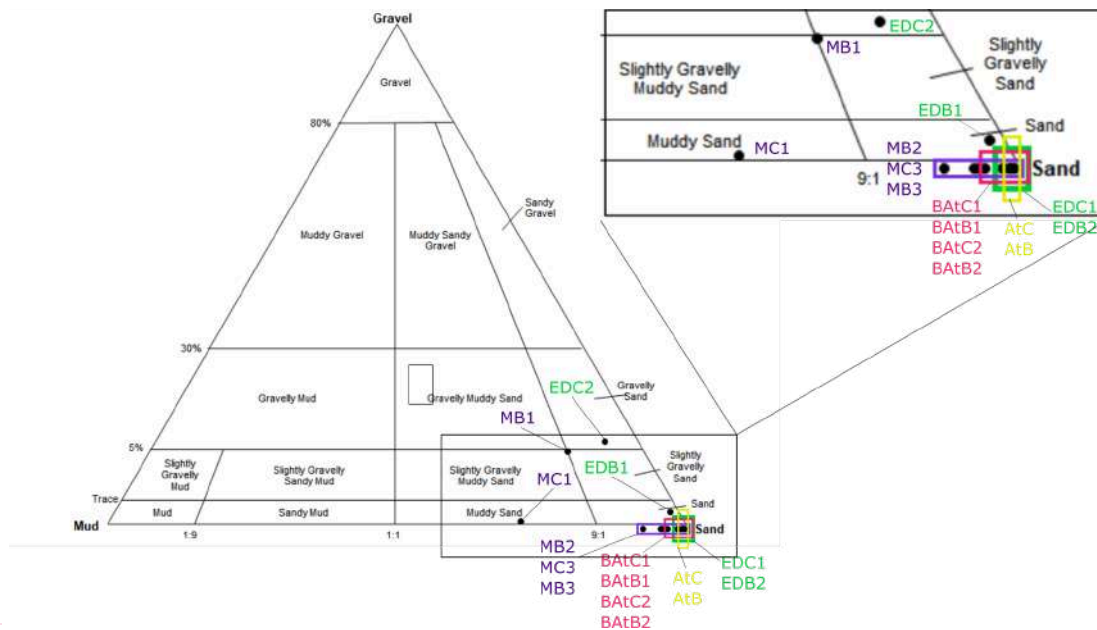


Figura 6.5. Diagrama ternario para clasificación textural de las muestras. Resultados obtenidos de Gradistat V 9.1 (Blott, 2020).

6.7 Interpretación

La mayoría de los perfiles muestran a la saltación como mecanismo dominante de transporte, esencialmente actuando sobre los sedimentos arenosos que componen la fracción mayoritaria de las muestras. La tracción y la suspensión se dan en proporciones mucho menores. La selección de estas muestras suele ser buena a muy buena, con un claro predominio de la arena fina ($\phi=3$) a muy fina ($\phi=3,5$). En cuanto a la distribución de las muestras, dominan las tendencias con asimetría negativa, seguidas de las simétricas.

En el perfil de tomado en Magdalena se verifica un mayor porcentaje de transporte por suspensión que en el resto de los perfiles, el cual constituye hasta el 24% en la muestra MC1. Esto se condice con la alta tasa de sedimentos arcillosos que se

observan en el sector más proximal de la costa del balneario, sugiriendo una dinámica alterada por la presencia de las protecciones costeras instaladas allí.

Las muestras correspondientes al perfil de la Reserva El Destino muestran una buena selección. Únicamente la muestra EDC2 muestra un comportamiento bimodal y una peor selección. Esto se debe a la acumulación de valvas fragmentadas en los canales de la zona que, a pesar de encontrarse en relativa menor proporción, representan un porcentaje elevado de la muestra debido a su elevado peso. Si se descontara el efecto de estos fragmentos, se obtendría una distribución simétrica y muy bien seleccionada al igual que en el resto de las muestras tomadas en el perfil.

7. PETROGRAFÍA

A continuación se presentan los resultados del análisis de los cortes delgados obtenidos de las fracciones modales (arena fina y muy fina) de las muestras AtC, AtB, BAAtB1, MC3, MB3, EDB1 y EDC2. Los perfiles a los que corresponde cada muestra son detallados en la Tabla 7.1. Se incluyen fotografías tomadas a través de la lente del microscopio, las cuales fueron tomadas con un aumento de 20x.

Perfil	Denominación	Muestra	Subambiente	Moda
1	Atalaya	AtB	Cara de playa	3.5
		AtC		3.5
2	Bosque Atalaya	BAAtB1	Playa frontal	3
		BAAtC2		3
3	Magdalena	MC3	Playa frontal	3.5
		MB3		3.5
4	El Destino	EDB1	Cara de playa	3.5
		EDC2		3

Tabla 7.1. Modas de las muestras analizadas (phi), se detallan también el subambiente y el perfil al que pertenece cada una.

7.1 Descripción microscópica de los sedimentos

La observación al microscopio de los cortes delgados permitió identificar a los fragmentos líticos de origen volcánico como principal componente de las muestras, siguiendo en orden de abundancia el cuarzo, la plagioclasa y el feldespato potásico. También se identificaron minerales pesados, tales como anfíboles y piroxenos, que conforman fracciones minoritarias. Las proporciones representadas por cada mineral en la moda detrítica de cada muestra se detalla en la Tabla 7.2.

Fragmentos líticos

Representan entre el 49 y el 63% de la fracción clástica total. La mayoría (más del 95%) corresponde a fragmentos de origen volcánico. Estos exhiben texturas de varios tipos, siendo comunes las microgranosas, pilotácicas y felsíticas, evidenciando composiciones intermedias a ácidas. Las pastas se encuentran frecuentemente alteradas en distintos grados a arcillas (sericita y clorita) y a óxidos de hierro. En cuanto sus cualidades geométricas, los fragmentos líticos son mayormente esféricos, y en algunos casos elongados, se encuentran subredondeados a redondeados y sus tamaños varían entre 0,05 y 0,25 mm.

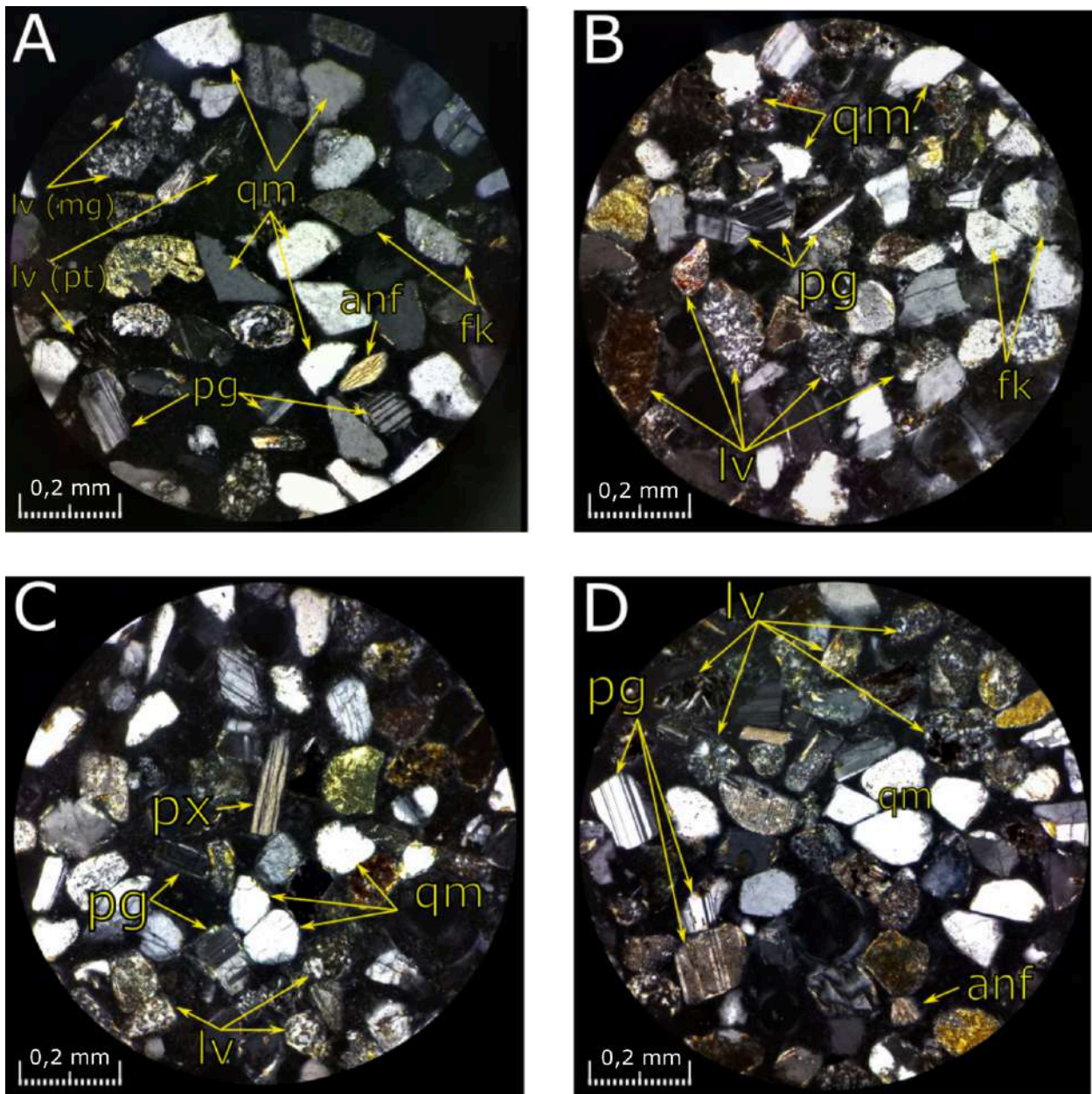


Figura 7.1. Fotografías de los cortes delgados de las fracciones modales de las muestras. En sentido horario desde la esquina superior izquierda: BAtB1, MB3, EDB1, AtC.

Referencias: lv=líticos volcánicos; pg=plagioclasa, qm=cuarzo monocristalino, anf=anfíbol, px=píroxeno, fk=feldespato potásico.

Cuarzo

Entre el 15% y el 22% de la fracción clástica corresponde a fragmentos de cuarzo (Fig. 7.1). Estos son predominantemente de tipo monocristalino, con una pequeña fracción (alrededor del 1%) de cuarzo policristalino. Se caracterizan por presentar típicamente extinciones tipo flash y ondulosa y, en muchos casos, presentan zonación e inclusiones. El grado de redondeamiento es bajo, siendo abundantes los cristales angulosos a subredondeados. El tamaño de los clastos es en promedio entre 0,1 y 0,25 mm.

Plagioclasa

Corresponde a fracciones entre el 16% y el 24% del total, siendo más abundante en las muestras del perfil 4. Estos fragmentos de hábito tabular, se identifican con facilidad por su distintiva macla polisintética. Poseen, en general, bajo redondeamiento y tamaños entre 0,5 y 0,2 mm. Comúnmente no se encuentran alterados, pero en algunos casos pueden observarse alteraciones de bajo grado, principalmente a sericita y a arcillas. También se encuentran individuos que exhiben zonación (Fig. 7.1 C).

Feldespatos potásicos

Se encuentra en fracciones entre el 1 y el 3%, y corresponde mayormente a ortosa. En la muestra BAAtC2 aparece microclino, el cual exhibe su característica macla en dos direcciones. Los clastos aparecen a menudo alterados, dando un aspecto “sucio” al observar la muestra con polarizadores paralelos. Esta alteración es moderada a alta y principalmente corresponde a sericitización.

Anfibol

Se encuentra en todas las muestras, en una proporción relativamente baja, constituyendo entre el 0,5 y el 2,5% de las fracciones modales. Estos fragmentos se identifican debido a su alto relieve, su extinción oblicua y su pleocroismo distintivo en tonos de verde cuando se los observa con polarizadores paralelos. En general se presentan bien definidos y de hábito tabular, aunque también se pueden encontrar caras basales prismáticas (Fig. 7.1 D).

Piroxeno

Estos componentes conforman entre el 0,3 y 2% de las fracciones modales. Al igual que los anfíboles poseen alto relieve y hábito tabular (Fig. 7.1 C), aunque se diferencian de éstos por la ausencia de pleocroismo y por poseer una extinción generalmente paralela. Es también común la aparición de caras basales de hábito prismático. Los tamaños rondan entre los 0,05 y 0,2 mm.

Alteritas

Se clasifica como alteritas a todos aquellos clastos en los que el grado de alteración imposibilita la observación de la textura. Estos conforman entre el 0,9 y el 2,5% de las fracciones modales. Las alteraciones generalmente les otorgan colores rojos, negros (óxidos) o verdosos (cloritas) a polarizadores paralelos, por lo cual pueden identificarse fácilmente. Se interpreta que podrían corresponder a pastas de fragmentos líticos volcánicos muy alterados.

		Perfil 1		Perfil 2		Perfil 3		Perfil 4	
		AtC	AtB	BAtB1	BAtC2	MC3	MB3	EDB1	EDC2
		Canal	Barra	Barra	Canal	Canal	Barra	Barra	Canal
Cuarzo	Monocristalino	16.7	21.2	17.7	13.2	16.0	19.2	17.2	21.4
	Policristalino	-	-	1.0	0.8	-	0.9	0.3	0.3
Feldespato	Plagioclasa	19.0	21.0	16.7	19.7	15.4	21.2	18.8	23.2
	Potásico	0.3	0.6	1.9	1.2	1.3	1.2	2.4	1.0
	Microclino	-	-	-	0.3	-	-	-	-
Piroxeno		0.3	0.8	3.0	0.3	1.4	0.3	0.5	2.1
Anfibol		0,5	0.4	1.3	0.3	1.9	0.9	0.8	1.7
Fragmentos líticos volcánicos		62.5	55.0	57.5	63.2	63.2	55.3	58.9	49.0
Alteritas		1.2	1.0	1.0	1.0	0.8	0.9	1.1	1.3

Tabla 7.2. Componentes detríticos principales y porcentaje de la fracción modal que representan en cada muestra.

7.2 Clasificación de las muestras

Las muestras se clasificaron según los criterios de Folk et. al. (1970) (Fig. 7.3), considerando el contenido de cuarzo, feldespatos y fragmentos líticos presentes. Los resultados fueron graficados sobre un diagrama modificado para sedimentos inconsolidados, puesto que la clasificación original aplica solo para rocas

sedimentarias. Las muestras AtC, BAIB1 y MC3 se clasifican como arenas líticas, las muestras EDB1, EDC2, MB3 y AtB se encuentran dentro del campo de las arenas lito-feldespáticas, mientras que la muestra BAIC2 se encuentra en la transición entre ambos campos.

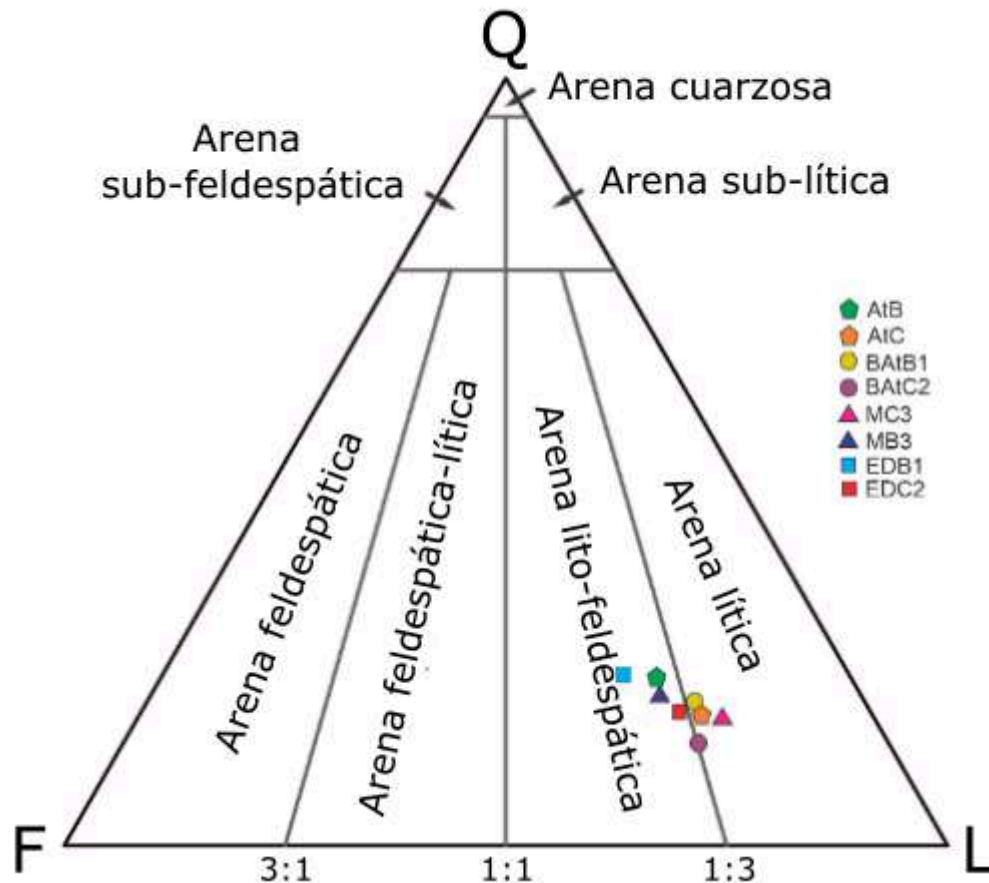


Figura 7.2. Diagrama ternario modificado a partir de Folk et al. (1970) para la clasificación de los sedimentos.

Referencias: Qm=cuarzo monocristalino, F=plagioclasa+feldespato potásico, L=fragmentos líticos + cuarzo policristalino.

7.3 Interpretación

Los resultados composicionales permiten concluir que los sedimentos de los ambientes intermareales y submareales analizados están mayormente constituidos por tres componentes principales: fragmentos líticos, cuarzo y feldespato. Los fragmentos líticos de origen volcánico constituyen la fracción mayoritaria en todas

las muestras, concentrando entre el 49 y el 61% de las muestras. Las proporciones de cuarzo y plagioclasa suelen ser similares entre sí, concentrando entre el 13 y el 23% de las fracciones modales.

En relación a la distribución en sentido transversal a los perfiles, se puede observar, a grandes rasgos, que los canales concentran ligeramente una mayor proporción de líticos volcánicos que las barras, a excepción del perfil 4, donde sucede lo contrario. Por otro lado, no se percibe una variación composicional significativa a lo largo de la costa dentro de los mismos subambientes.

Respecto a la procedencia de los sedimentos, se interpreta que la zona de estudio (debido a su ubicación) se encuentra influenciada mayormente por el aporte de sedimentos provenientes de la descarga fluvial del río Paraná al estuario del Río de la Plata desde el NO y por los sedimentos provenientes de la deriva litoral desde el SE, mayormente resultados de la erosión de los afloramientos de la costa centro y sur bonaerense. Sin embargo, es importante considerar también que estos resultados podrían parcialmente verse influenciados por la variabilidad en la descarga fluvial de arroyos locales y por los eventos de sudestada, en los cuales (particularmente en estos últimos) se moviliza mucho material en las zonas costeras. El alto grado de redondeamiento observado en los líticos volcánicos, en comparación con los clastos de cuarzo y feldespato, se debe principalmente a su respuesta mecánica frente a la erosión durante el transporte. Al ser más friables, estos adquieren un mayor grado de redondeamiento.

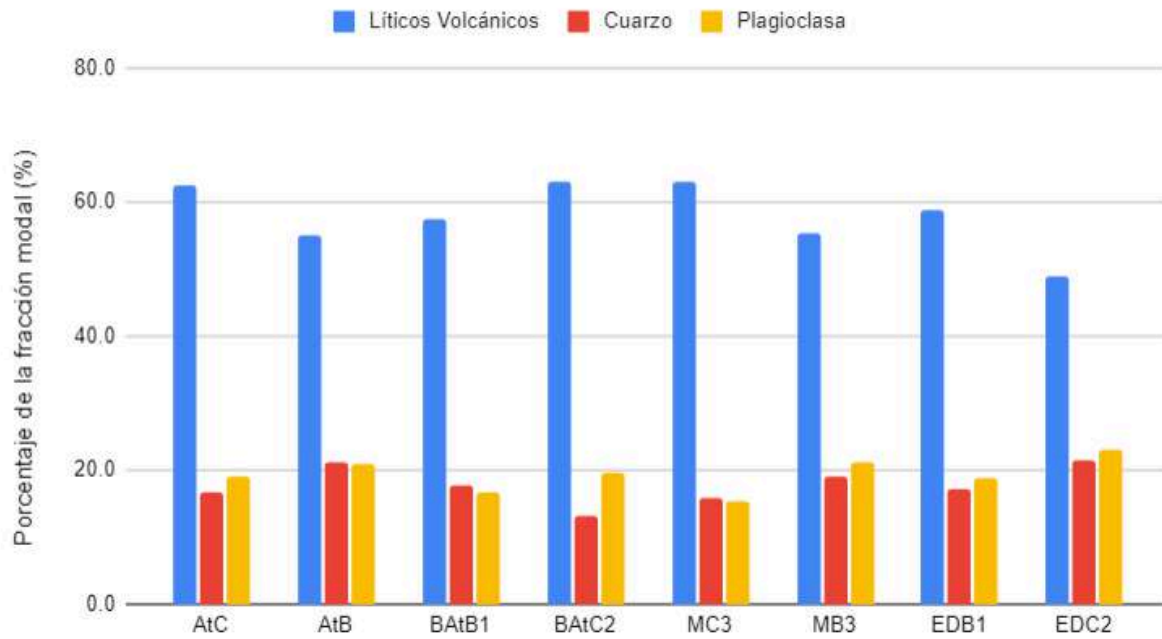


Figura 7.3: variación de los porcentajes de los componentes principales en los distintos perfiles, ordenados de norte a sur.

8. EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA

Se resumen en este capítulo las variaciones de la posición de la línea de costa a lo largo de un periodo de 68 años, desde el año 1961 hasta el año 2021. Para esto fueron utilizadas fotografías aéreas del año 1961 en escala 1:35.000 provistas por el Instituto Geográfico Nacional y fotografías aéreas de los años 1984 y 1987 obtenidas del archivo fotográfico de la Agencia de Recaudación de la Provincia de Buenos Aires (ARBA). Las imágenes más modernas (años 2003, 2010 y 2019) se obtuvieron de imágenes satelitales de Google Earth. Se utilizaron 10 puntos de referencia identificando rasgos que se mantuvieran en una posición relativamente constante a través del tiempo para realizar las mediciones, la ubicación de estos se detalla en la Tabla 8.1 y la Figura 8.1. Las figuras presentadas muestran las sucesivas posiciones de la línea de costa, marcadas sobre fotografías aéreas del año 1961 (arriba) y sobre una imagen satelital actual del año 2019 (abajo). Se utilizaron imágenes del 2019 para representar la posición de la costa actual debido a que estas poseen mejor resolución comparadas con imágenes de años posteriores y reflejan una configuración de la línea de costa similar a estas.

Punto	Ubicación	
	Latitud	Longitud
A	35° 1'6.38"S	57°31'43.10"O
B	35° 1'26.08"S	57°31'16.55"O
C	35° 1'57.69"S	57°30'11.85"O
D	35° 3'9.64"S	57°28'57.45"O
E	35° 3'58.08"S	57°27'34.96"O
F	35° 6'53.19"S	57°24'12.33"O
G	35° 7'35.03"S	57°22'58.92"O
H	35° 9'40.66"S	57°20'28.61"O
I	35°10'10.34"S	57°20'10.63"O
J	35°11'9.07"S	57°19'26.29"O

Tabla 8.1. Coordenadas de los puntos de referencia usados para medir la variación de la línea de costa



Figura 8.1. Imagen satelital con la ubicación de los puntos de referencia (verde) y los perfiles topográficos relevados (rojo).

8.1 Resultados

El análisis de las imágenes históricas revela un comportamiento dinámico de la costa en la zona de estudio, con variaciones de una magnitud que varía según el sector que se analice (Tabla 8.2). Mientras en algunas zonas prevalece una dinámica progradante, en otras se observan retrocesos considerables en la línea de costa para el mismo rango temporal. De forma general, en el sector norte, en la zona de los balnearios de Atalaya y Magdalena (puntos A, B y C) la costa ha tendido en general a la progradación. Esta tendencia se conserva, aunque con una menor magnitud hacia el este (puntos D y E). En el sector central, aparecen periodos erosivos con una tasa relativamente baja de retroceso (punto F), mientras que hacia el SE, dentro de la Reserva El Destino (punto G), se observa nuevamente una dinámica progradante aunque a menor tasa que en sector norte. Finalmente, el sector sur presenta una dinámica mixta, en la cual se alternan periodos erosivos con periodos progradantes, ambos a con una baja tasa de variación.

Sector	Punto	Tasa de variación (m/año)							
		1961-1984	1961-2003	1984-2003	1984-2010	1984-2019	2003-2010	2003-2019	2010-2019
Norte	A	12,8	7,2	0,3	-0,1	-0,1	-1,3	-0,6	0,0
	B	0,6	1,7	3,1	10,2	6,3	29,6	10,2	-5,0
	C	10,4	5,2	-1,1	0,3	0,2	4,3	1,9	0,0
	D	7,9	5,9	3,5	2,8	2,9	1,0	2,3	3,3
	E	4,6	2,8	0,5	-0,1	0,9	-1,8	1,3	3,8
Centro	F	-2,1	-	-	-0,3	-0,3	-	-	-0,3
	G	1,6	-	-	2,3	2,0	-	-	1,0
Sur	H	3,8	1,4	-1,4	-1,5	-3,2	-1,9	-5,5	-8,2
	I	2,6	0,6	-2,0	-2,1	-2,8	-2,3	-3,7	-4,8
	J	2,9	3,6	4,4	3,5	2,1	1,0	-0,5	-1,6

Tabla 8.2. Tasas de avance (verde) o retroceso (rojo) de la línea de costa para distintos períodos. Los cuadros azules no exhiben variación en el período indicado. Los casilleros sin datos se deben a la ausencia de la imagen satelital del 2003 en el sector central de la zona de estudio.

En cada sector se ha propuesto una zonificación de acuerdo con la tasa de variación imperante. Esta se obtuvo utilizando el promedio de la tasa de variación en la última década y se graficó utilizando el código de colores que se detalla en la Tabla 8.3. Las zonificaciones son presentadas al final de las descripciones de cada sector.

Tasa (m/año)	Denominación
Mas de -4	Erosiva, muy alta
-4 a -3	Erosiva, alta
-3 a -2	Erosiva, media
-2 a -1	Erosiva, baja
-1 a 1	Estable
1 a 2	Progradante, baja
2 a 3	Progradante, media

Tabla 8.3. Código de colores según tasas de variación para la zonificación del área de estudio.

8.1.1 Sector Norte

El punto A se ubica en el sector próximo al balneario de Atalaya. En él se registra una acelerada progradación entre los años 1961 y 1984, período en el cual la línea de costa se desplaza 294 m en dirección al estuario, a una tasa de 12,8 m/año. Esta dinámica se ve suspendida en los años posteriores, en los que la línea de costa permanece relativamente inmóvil, con una variación neta de menos de 10 m (con

una tasa menor a 1 m/año), a excepción de la desembocadura del arroyo Buñirigo, que sigue manteniendo una progradación a mayor tasa. Esto estaría vinculado a una serie de modificaciones de origen antrópico que se realizaron durante el último siglo.

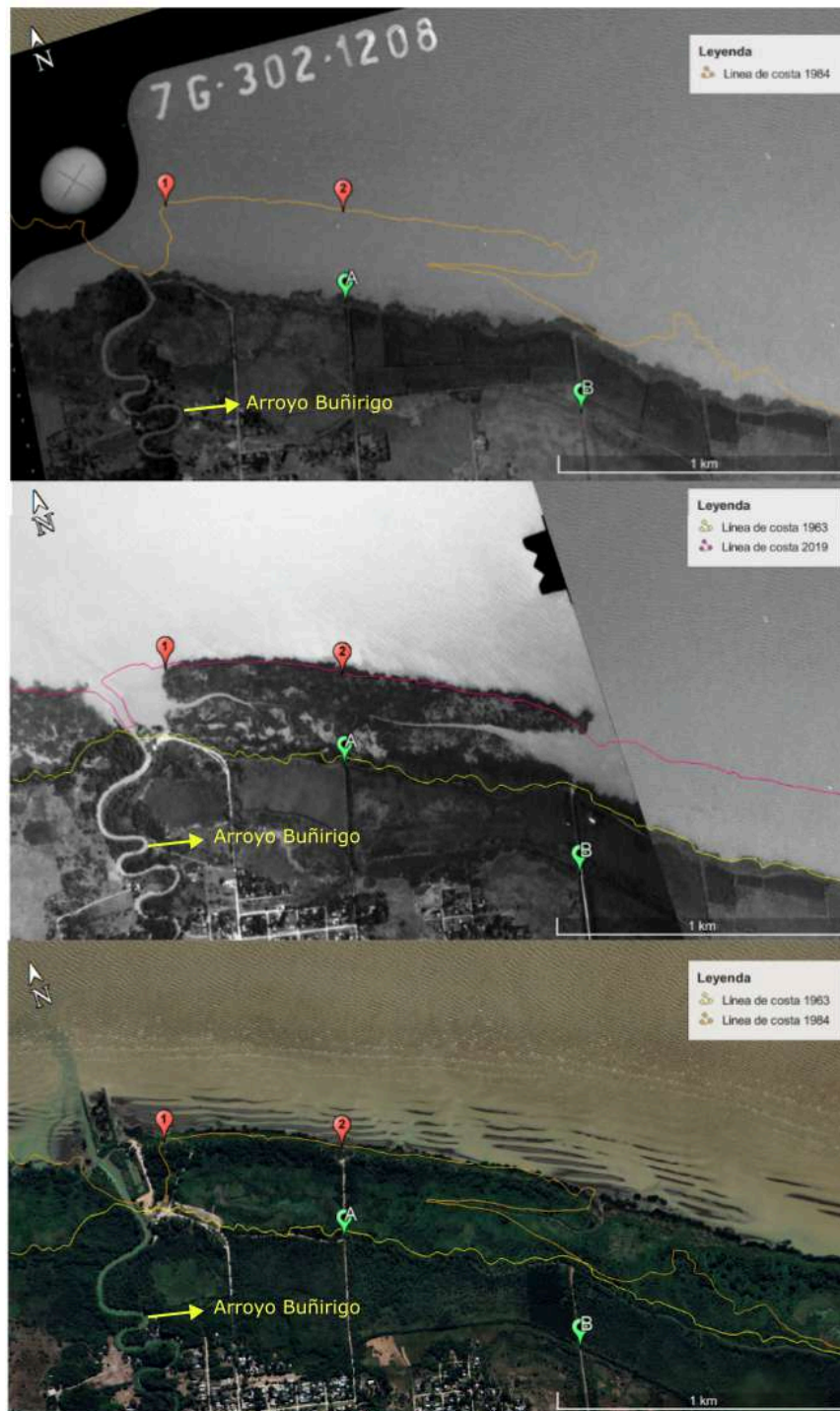


Figura 8.2. Posiciones de la línea de costa en el sector norte del área de estudio, marcadas sobre fotografías aéreas de los años 1961 (arriba) y 1984 (centro) e imagen satelital del año 2019 (abajo)

En 1952 se construyó la primera de tres escolleras en el sector de la desembocadura (Fig. 8.3). Esta estructura, fabricada a partir de bolsas de cemento fraguable en agua, se colocó con el objetivo de proteger la desembocadura de las corrientes de deriva para permitir la navegación del arroyo (D'amico, 2019). En 1998 se construyó una segunda escollera, esta vez de piedra partida, que en la actualidad se encuentra varios metros hacia dentro del continente, atestiguando la antigua posición de la línea de costa. Finalmente, hacia el año 2014, utilizando como cimientos a los vestigios de la estructura más antigua, se construyó la última escollera que actualmente puede observarse internándose en las aguas del estuario. Esta estructura tiene un efecto notable sobre la dinámica actual del estuario, actuando como una zona de pérdida de energía de las aguas y en consecuencia aumentando la depositación en el sector circundante. Este sector de baja energía resultó propicio para el establecimiento de especies vegetales, que pudieron avanzar sobre la estructura acoplándose a ella.



Figura 8.3. Detalle del sector de la desembocadura del arroyo Buñirigo.

A: imagen satelital mostrando las posiciones de las escolleras.

B: fotografía de la escollera actual.

El punto B se ubica hacia el este, en las proximidades del sector donde se midió el perfil topográfico número 2. En esta zona también se registra una tendencia progradante en el período 1961-1984, pero con una tasa de avance mucho menor, de 0,6 m/año. En los años posteriores esta tasa aumenta, alcanzando un máximo de 29,6 m/año en el período 2003-2010, en el cual se registra un avance de 207,2 m. A partir del 2010 hacia la actualidad se registra reversión de tendencia, con la instalación de una dinámica erosiva que produce el retroceso de la línea de costa a una tasa de -5 m/año.



Figura 8.4. Posiciones de la línea de costa en el sector norte del área de estudio, marcadas sobre una fotografía aérea del año 1961 (arriba) y sobre una imagen satelital del año 2019 (abajo)

La zona que rodea al balneario de Magdalena, cuyas posiciones de la línea de costa se midieron respecto al punto C, presenta una evolución similar al puerto de Atalaya (punto A). Se registra una gran progradación de 240,3 m entre los años 1961 y 1984 (10,4 m/año), seguida de una estabilización relativa hacia la actualidad, con variaciones menores a 1 m/año. En otros sectores aledaños (entre el punto B y el C y al este del punto C) la línea de costa se mantiene relativamente durante el periodo 1961-1984, presentando una progradación de gran envergadura entre los años 1984 y 2003.

El sector del balneario se mantiene sin modificaciones a lo largo de todo el período analizado. Esto se debe a la presencia de un muro de contención de 2 metros de altura (Fig 8.5 B), y de un enrocado al pie de este, los cuales fueron colocados en la década del 40 (D'Amico, 2019) para generar condiciones favorables para la instalación del balneario. Este muro actúa como un punto de reflexión de la energía de las olas, generando una zona de alta energía y una zona de depositación hacia los laterales. Esto genera una progradación en dirección oblicua al muro, y a una tasa muy alta que se sostiene en la actualidad (Fig. 8.5 A), propiciada por el desarrollo de vegetación acuática. En consecuencia a este fenómeno, la bahía en la que está posicionado el balneario podría tender a cerrarse en los próximos 50 años.



Figura 8.5. Posiciones de la línea de costa en el sector del balneario de Magdalena (arriba), fotografía del muro de contención del balneario de Magdalena (abajo).

Hacia el este del sector norte, en donde se ubican los puntos D y E, se continúa observando una tendencia progradante durante la mayor parte del período analizado. Para el punto D se tiene un avance relativamente constante desde 1961 hasta 2003, de 5,9 m/año. Luego, se produce una estabilización relativa durante el período 2003-2010 (1 m/año) y finalmente una ligera aceleración en la progradación desde el 2010 hasta el presente, donde alcanzó los 3,3 m/año. En el punto E las variaciones más importantes se dan en los períodos 1961-1984 (4,6 m/año) y 2010-2019 (3,8 m/año), en el intervalo entre ambos períodos las variaciones son menores. Hacia el este la costa se vuelve menos dinámica, y ya no se observan saltos importantes en su posición.

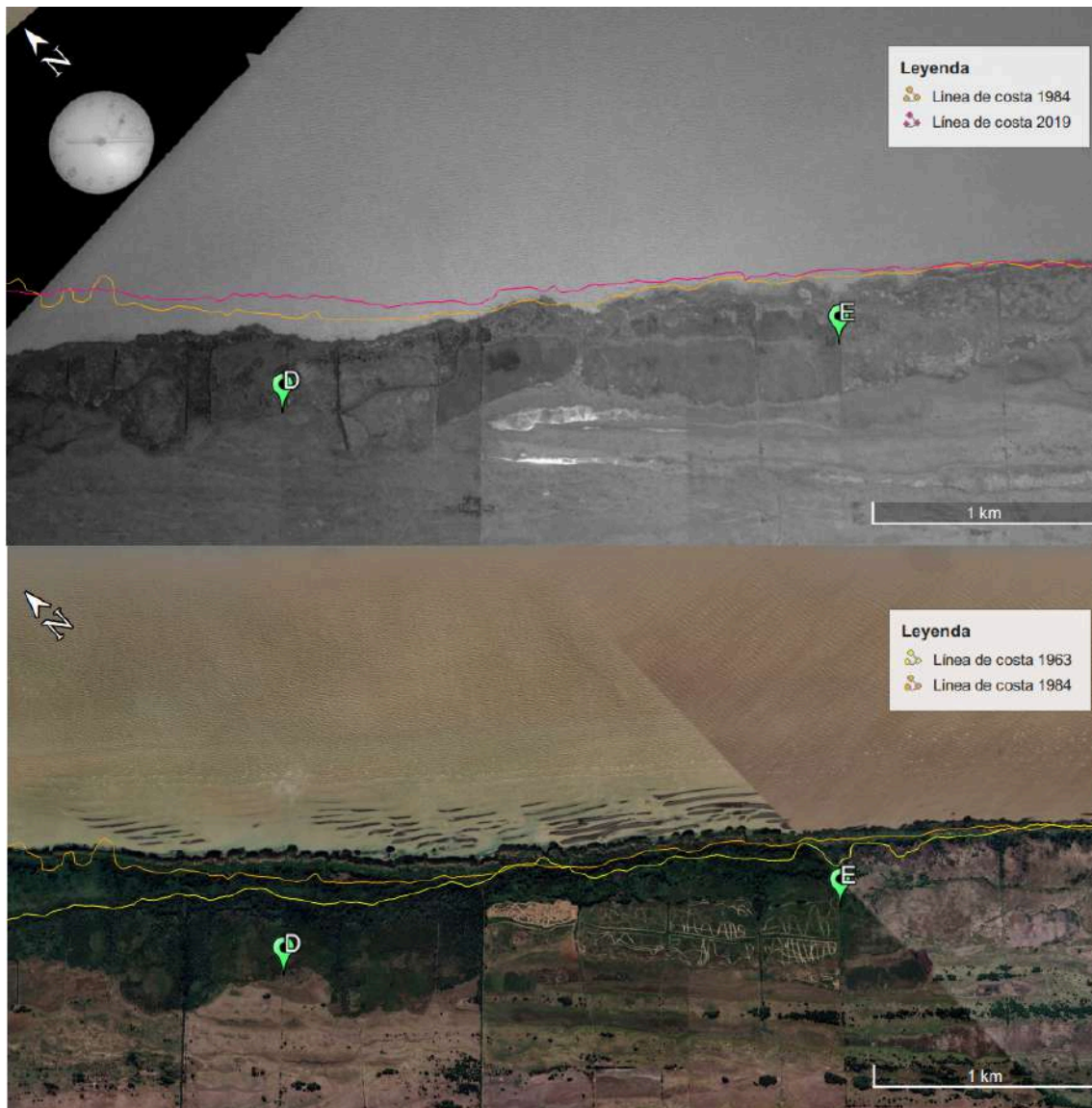


Figura 8.6. Posiciones de la línea de costa en el sector norte del área de estudio, marcadas sobre una fotografía aérea del año 1961 (arriba) y sobre una imagen satelital del año 2019 (abajo).

En resumen, el sector norte se caracteriza por una dinámica esencialmente progradante, con un importante avance en el período 1961-1984, aunque en algunos sectores este período es más estable y el mayor avance se da entre 1984 y 2003. Luego, en años más recientes, se sigue observando una tendencia a la progradación aunque a una tasa mucho menor. Este sector también es el más sometido a modificaciones de origen antrópico por encontrarse cerca de las principales comunidades de la zona. Las construcciones más importantes que

afectan al sector costero son la escollera en Atalaya y el muro de protección de Magdalena; estos tienen un efecto notable sobre la dinámica ya que por un lado impiden la modificación de la línea de costa, manteniendo la fija su posición a través del tiempo, y por otro, generan zonas de depositación en los sectores aledaños, generando una progradación a gran tasa.

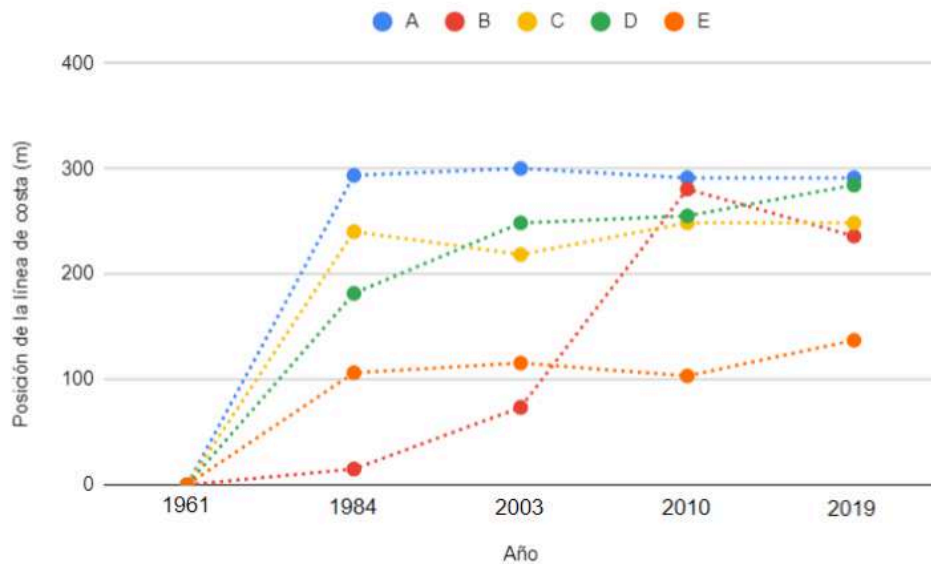


Figura 8.7. Gráfico de distancias desde cada punto a la línea de costa en función de los años (Sector norte)



Figura 8.8. Zonificación del sector norte según la tasa de avance/retroceso de la costa en los últimos 10 años.

8.1.2 Sector Central

La dinámica del sector central del área de estudio se caracterizó utilizando de referencia los puntos F y G, ubicado este último dentro de la Reserva El Destino, próximo a donde se midió el perfil topográfico número 4. En el punto F, ubicado al noroeste, la dinámica es fundamentalmente erosiva. La línea de costa muestra una tendencia al retroceso durante todo el período analizado, con un máximo en el período 1961-1984, en donde la costa retrocede a una tasa de $-2,1$ m/año. Desplazándose un total de $47,6$ m. Luego, se produce una estabilización, con variaciones menores a 3 m en los últimos 10 años ($-0,3$ m/año). Por otro lado, el punto G, ubicado al sudeste, muestra una tendencia a la progradación, también con un máximo durante el período 1961-1984, con una tasa de avance de $1,6$ m/año. Luego, desde el 2010 hasta la actualidad, esta tasa desciende a 1 m/año.



Figura 8.9. Posiciones de la línea de costa en el sector norte del área de estudio, marcadas sobre una fotografía aérea del año 1961 (arriba) y sobre una imagen satelital del año 2019 (abajo)

En los puntos F y G también se observa un período más dinámico durante los años 1961-1984, seguido de una estabilización hacia el presente, con variaciones a una tasa inferior a 1 m/año para ambos puntos. La dinámica de este sector durante la última década se puede caracterizar como estable, con un equilibrio entre los procesos de erosión y depositación, los cuales se producen alternadamente a lo largo de la costa y en muy bajas tasas. Al ubicarse buena parte de la costa de este sector dentro de una reserva natural, la modificación antrópica en este sector es mínima.

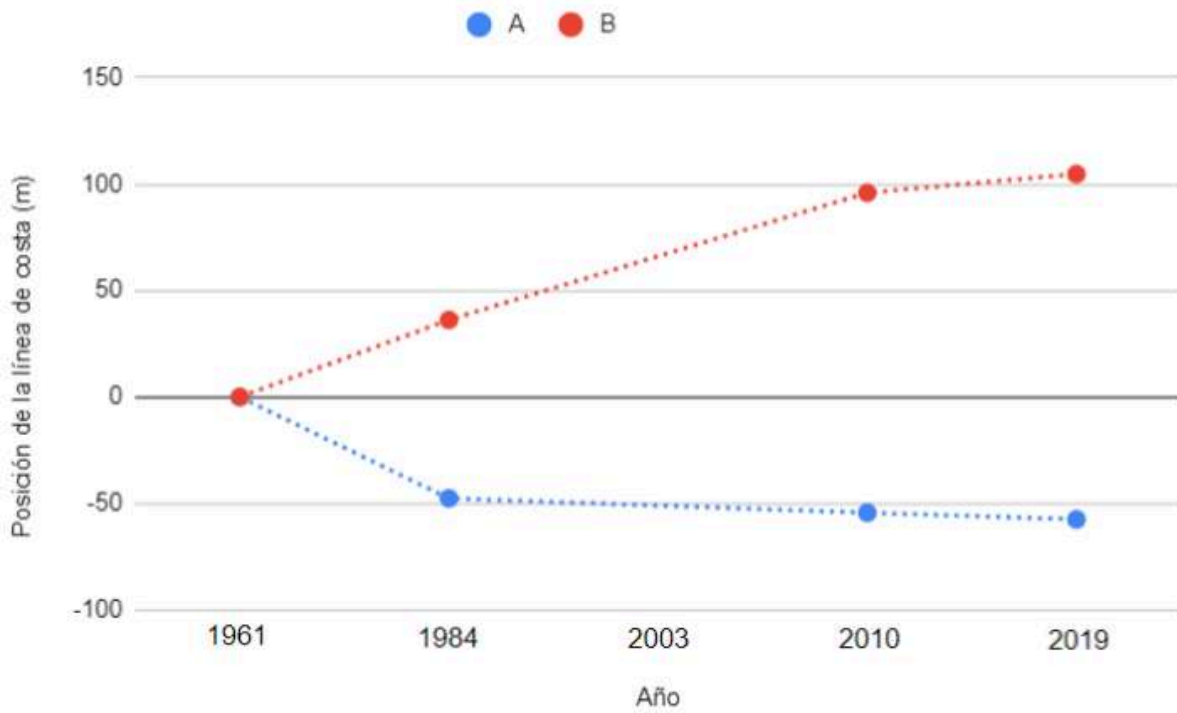


Figura 8.10. Gráfico de distancias desde cada punto a la línea de costa en función de los años (zona central)

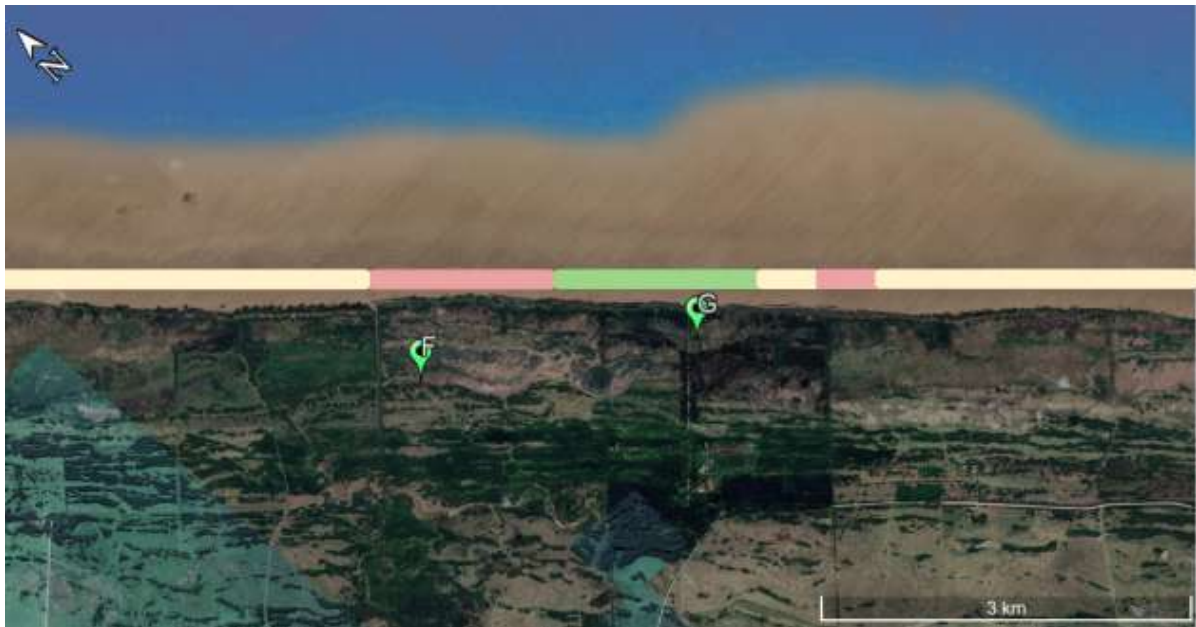


Figura 8.11. Zonificación del sector central según la tasa de avance/retroceso de la costa en los últimos 10 años.

8.1.3 Sector sur

Las variaciones en la línea de costa en el sector sur de la zona de estudio se midieron respecto a los puntos H, I y J. El sector NO, en donde se encuentran los puntos H e I, presenta una primera etapa progradante entre los años 1961 y 1984, y una segunda etapa erosiva desde 1984 hasta la actualidad. En la primera etapa el avance se produjo a una tasa de 3,8 m/año y 2,6 m/año para los puntos H e I respectivamente; mientras que en la segunda etapa, la tasa de retroceso fue de -3,2 m/año para el punto H y -2,8 m/año para el punto I. Hacia el sudeste, cerca del punto J, el período 1961-1984 también es predominantemente progradante, con una tasa de avance similar a la del punto I, de 2,9 m/año. Luego, entre 1984 y 2003, la tasa de progradación aumenta, avanzando 82,7 m en dicho período (4,4 m/año). Finalmente se pasa una etapa erosiva durante el período 2003-2019, con una tasa de retroceso de aproximadamente -0,5 m/año.

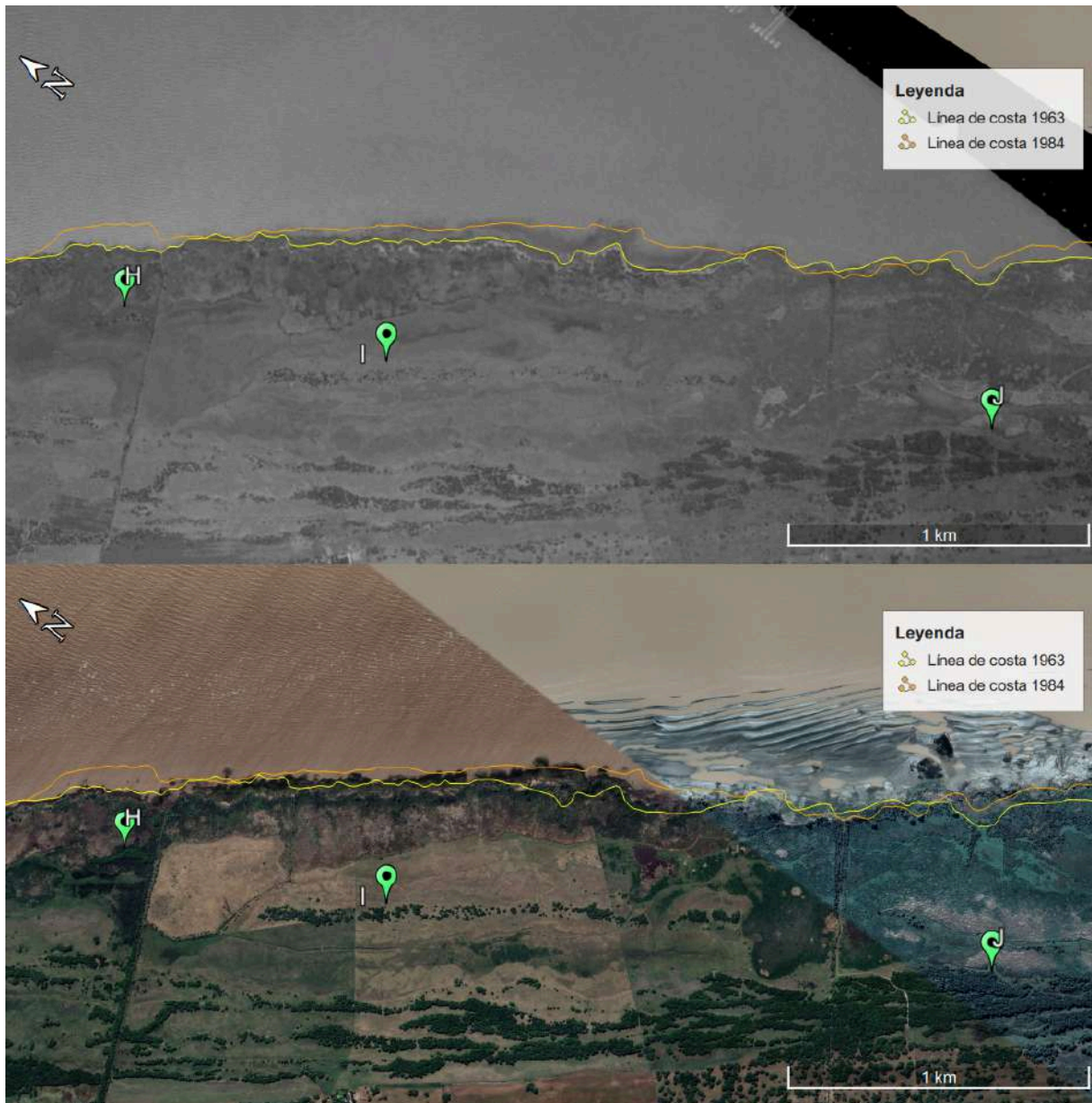


Figura 8.12. Posiciones de la línea de costa en el sector sur del área de estudio.

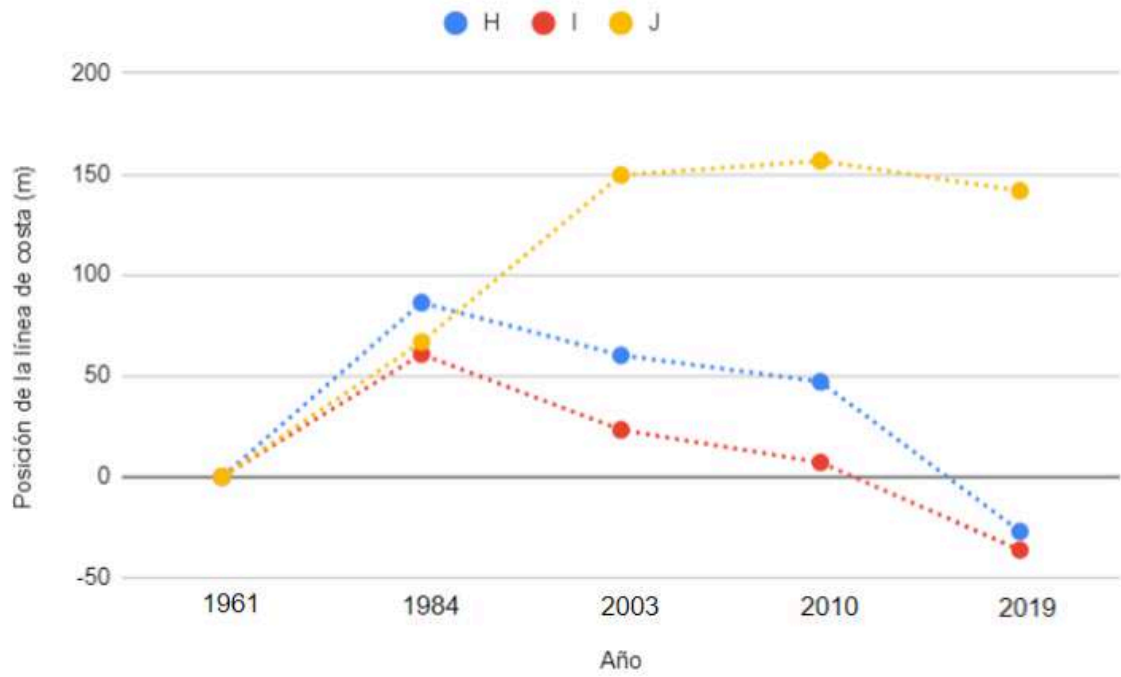


Figura 8.13. Gráfico de distancias desde cada punto a la línea de costa en función de los años (sector sur)

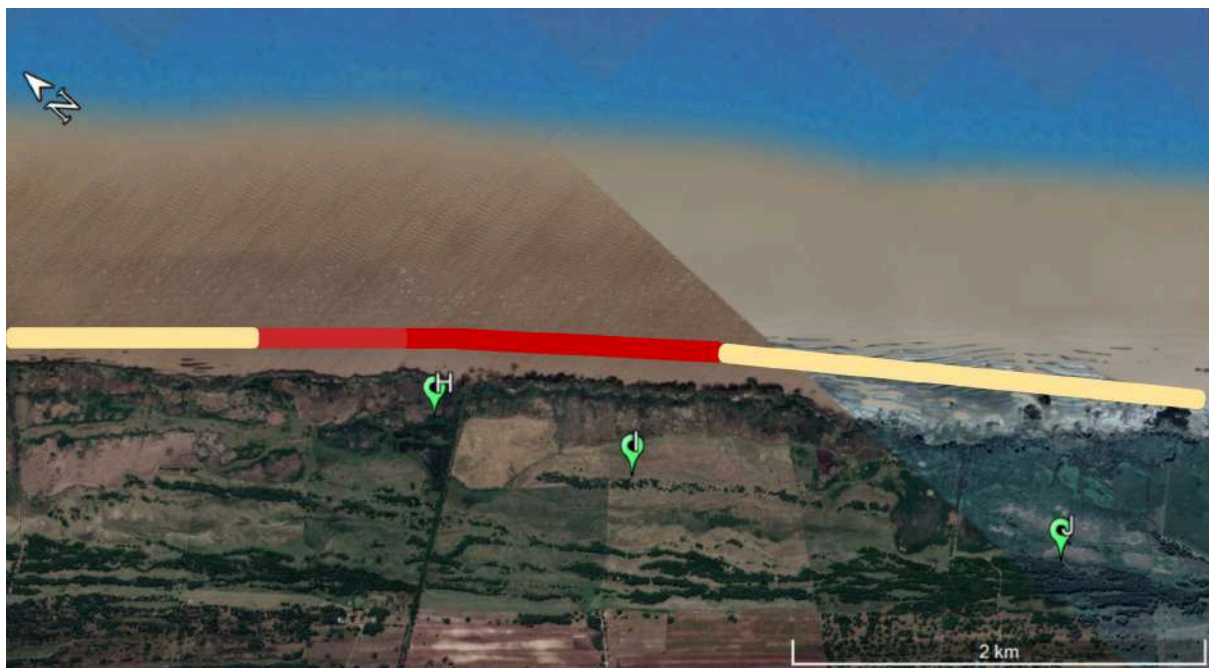


Figura 8.14. Zonificación del sector sur según la tasa de avance/retroceso de la costa en los últimos 10 años.

8.2 Interpretación

La evolución del sector costero de la zona de estudio a lo largo de los últimos 70 años presenta un comportamiento mixto. Dentro de un mismo período temporal se observan zonas con tendencias a la progradación y otras donde la erosión produce el retroceso de la línea de costa, con tasas que a su vez son altamente variables. Estas variaciones se hacen evidentes de igual manera cuando se analiza la evolución de un mismo sector a lo largo del tiempo, por lo que resulta difícil la caracterización del comportamiento dinámico de la costa. A pesar de esto, es posible discretizar algunas tendencias que se observan en los distintos sectores.

El sector norte, en el cual se ubican las localidades de Magdalena y Atalaya, es el que presenta mayor movilidad de la línea de costa. La mayor parte de esa variabilidad se produce en el período 1961-1984, en el cual la dinámica imperante es de progradación y las tasas de avance de la línea de costa alcanzan valores de hasta 14 m/año. Algunos sectores, como por ejemplo, el que se ubica entre Atalaya y el balneario de Magdalena, presenta zonas de alta movilidad durante ese periodo y otras que en cambio se mantienen relativamente inmóviles, pero con un período altamente dinámico entre los años 1984-2003. Entre esos años la tasa de progradación es similarmente alta, con valores de hasta 12 m por año. Aún más hacia el sur se observan tendencias similares pero con una notable disminución en las tasas de variación a medida que se aleja de las zonas urbanizadas. Esto se debe a la influencia que algunas estructuras antrópicas tienen sobre la movilidad de la costa. Si se observan los sectores alrededor de las principales estructuras, pueden a simple vista identificarse sus efectos. Tal es el caso de la escollera de Atalaya y el enrocado del balneario de Magdalena, en donde, a partir de su instalación la línea de costa se vuelve estática (la línea de costa se fija con el muro), mientras que los sectores circundantes aumentan su tasa de progradación.

En años más recientes (período 2010-2019) la costa ha tendido a disminuir su tasa de movilidad. Se observan sectores relativamente estables, como aquellos ubicados sobre los balnearios de Atalaya y Magdalena, y otros más dinámicos, como el que se ubica entre estos dos sectores, en el cual se ve un retroceso de la costa a una tasa de cerca de -5 m/año. Hacia el sureste, donde se ubican los puntos D y E, la dinámica continúa siendo progradante, a tasas de entre 3 y 4 m/año.

En el sector central, también se observa mayor dinamismo durante el período 1961-1984, con una costa erosiva hacia el noroeste (punto F) y progradante hacia el

sureste (punto G), aunque las tasas de movilidad (-2,1 m/año y 1,6 m/año respectivamente) son las más bajas para esta franja temporal.

Desde la década del 1980 en adelante, la movilidad de la costa en este sector se vuelve más estable, con un equilibrio entre la erosión y la depositación, que se manifiesta en una línea de costa que mantiene su posición sin dejar de cambiar a lo largo del tiempo. Se observan numerosos sectores que se erosionan mientras otros progradan, a tasas inferiores a 1 m/año.

Finalmente, la costa del sector sur también exhibe una movilidad mayor entre 1961 y 1984, período en el cual se tuvo una dinámica fundamentalmente progradante al igual que el resto de la zona de estudio, con tasas de entre 2,6 y 3,8 m/año. Luego, entre 1983 y 2003, la zona ubicada al noroeste (puntos H e I) comienza a erosionarse a tasas de entre -1,4 y -2 m/año, mientras que hacia el sudeste (punto J) la progradación continúa a 4,4 m/año. Luego, desde el 2003 hacia el presente, en el noroeste del sector se pasa a una dinámica erosiva, con tasas de hasta -5,5 m/año, mientras que hacia el sudeste se tienen variaciones mucho menores (aunque aún altas si se las compara con otros sectores), con avances y retrocesos en el orden de los 0,5 m/año.

En resumen:

- Se observa una mayor movilidad de la línea de costa durante el período 1961-1984. Período en el cual la línea de costa tiene una tendencia general a la progradación.
- En términos generales, las mayores tasas de variación se dan en períodos de progradación, y estos suelen ser más largos que los períodos de erosión. Aun así, se pueden diferenciar tendencias entre los distintos sectores
 - En el sector norte los períodos progradantes son más largos y a mayores tasas, mientras que los períodos erosivos son cortos y a tasas muy bajas.
 - En el sector central ambos procesos se ven equilibrados en su duración, aunque los períodos erosivos suelen tener tasas menores.
 - En el sector sur, los períodos progradantes son más largos que los erosivos, pero estos últimos presentan una variabilidad mayor, especialmente desde el 2010 hasta el presente.

- Analizando los últimos 10 años, se observa que la movilidad de la costa en el sector norte y centro disminuye. Varios sectores se vuelven relativamente estables en años recientes, mientras que otros, como el correspondiente al punto B revierten su tendencia inicial a una erosiva, aunque a menor tasa. La zona aledaña al balneario de Magdalena constituye una excepción y continúa progradando en dirección oblicua al muro de contención allí instalado. En el sector sur también se ven zonas que tienden a la estabilidad, mientras que en otras, particularmente en la zona noroeste (puntos H e I) también se da una reversión a una tendencia erosiva pero a una tasa aún mayor, constituyendo las mayores variaciones en este período.
- En general, los mayores movimientos de la línea de costa se dieron en el sector norte, coincidiendo con las mayores modificaciones de origen antrópico.
- Los períodos de progradación suelen estar precedidos o acompañados por el avance de vegetación acuática

9. MANEJO COSTERO

La dinámica evolutiva de la línea de costa es un proceso complejo, influenciado por una variedad de factores naturales y antropogénicos. En capítulos anteriores, se ha explorado la evolución de la línea de costa y su interacción con estructuras de origen antrópico que se han erigido a lo largo de la zona de estudio. Estas estructuras, aunque diseñadas con finalidades en muchos casos necesarias para la actividad comercial local, pueden desencadenar cambios significativos en la configuración costera y en su sedimentación. La participación de materiales urbanos en la dinámica del estuario ha llegado incluso a conformar verdaderas “playas antrópicas” (Marcomini y Lopez, 2020) en otros sectores de la costa de Buenos Aires. Esto suscita la necesidad de abordar estratégicamente el manejo costero. Debe destacarse que en el sector estudiado, la línea de costa exhibe tendencias que no solo varían a lo largo del tiempo sino que incluso en un mismo período se pueden observar sectores con dinámicas opuestas, imposibilitando hacer una clasificación general de su comportamiento. Esto evidencia la necesidad de un plan de manejo que se adapte a esta la diversidad dinámica y que sea resiliente ante las variaciones temporales y espaciales.

Considerando esto, se proponen una serie de medidas que pueden adoptarse para asegurar un evolución equilibrada:

En primer lugar, se sugiere continuar realizando un monitoreo de la posición de la línea de costa a través de imágenes satelitales y perfiles de playa referidos a puntos fijos estratégicos y representativos de la dinámica local como los propuestos en este trabajo. Estos deberían realizarse con una frecuencia semestral (alternativamente anual o cada 2 años), y podrían complementarse con el uso de vuelos aéreos no tripulados, como equipos de drones, para la obtención de imágenes aéreas actuales y periódicas

En cuanto a las medidas de acción se propone en primera instancia aquellas enmarcadas dentro de las categorías de adaptación o abstención (Pope, 1995), evitando modificaciones significativas del ambiente mediante acorazamiento o moderación, las cuales pueden tender a aumentar las modificaciones en la línea de

costa por erosión diferencial. El objetivo de este abordaje es intentar un restablecimiento parcial de la dinámica natural en la zona costera en cuestión.

Las mayores variaciones se observan en el sector norte, posiblemente vinculadas a la mayor intervención antrópica que presenta esta zona. Algunos sectores se encuentran sometidos a una alta tasa de erosión en la actualidad, mientras que en otros se observa una progradación sostenida hace décadas. Ejemplo de esto es el balneario de Magdalena, en el cual la costa se encuentra acorazada, produciendo un sector prácticamente inmovil, mientras que los sectores aledaños continúan progradando a una tasa sostenida. Esta acumulación indudablemente producirá una eventual colmatación con sedimentos en el balneario. Cuando esto suceda, se sugiere optar por medidas de adaptación dinámica, evitando la removilización tanto de los sedimentos del sector de playa como de la vegetación acuática, que actúa disipando la energía del oleaje y evitando la erosión sobre la costa ante la posible reanudación de una dinámica erosiva. Lo mismo aplica al sector del espigón en la costa de Atalaya, donde existe una tendencia a la acumulación de sedimentos alrededor de dicha estructura. Una vez que se produzca el avance de la costa sobre estas estructuras, es de esperar que el sector se mantenga en relativa estabilidad, lo cual debe ser confirmado mediante un monitoreo activo.

Más allá de estas recomendaciones es entendible la motivación por parte del municipio de conservar estos espacios de recreación, por lo que se puede optar por tomar medidas de adaptación con modificaciones. Una opción sería movilizar el material de la planicie estuárica a medida que este avance sobre el área del balneario. Este material podría utilizarse para sobreelevar sectores donde se planee edificar, o reubicarse en la playa al noroeste de la zona de estudio, donde pueda ser redistribuido por la deriva litoral. Si se desea reemplazar el material fino que abunda actualmente en la playa de este sector, se debe abordar la posibilidad de aplicar la clase funcional de restauración, mediante la recarga parcial de los sectores de playa con material de tamaño arena media a gruesa, haciéndolo más apto para la recreación.

A su vez, las zonas con circulación restringida de agua, como el balneario, deberían ser sometidas a un plan de monitoreo mediante controles bioquímicos y mediciones de los niveles de oxígeno para controlar la presencia de agentes contaminantes y

microorganismos. Estos controles podrían extenderse a los arroyos y acuíferos de la zona.

También es de particular importancia disminuir y regular la explotación de los cordones litorales para la extracción de material de construcción. Estas geoformas tienen una incidencia directa en la hidrodinámica local ya que constituyen zonas de recarga preferencial de los acuíferos.

Como medidas de adaptación, se sugiere la generación de márgenes de retiro 150 metros por detrás de la línea de alta marea de tormenta para urbanizaciones en el sector, en consonancia con lo establecido en el decreto 3202/2006, particularmente en sectores donde se observa una dinámica imperativamente erosiva. Esto permitirá la generación de un espacio estratégico para la adaptación natural de la costa ante eventos climáticos extremos y la protección de áreas sensibles a la erosión, fomentando a su vez la conservación de ecosistemas costeros y asegurando la sostenibilidad a largo plazo de las comunidades costeras. En cuanto a los sectores dedicados a la recreación y deportes, se propone que queden bajo la responsabilidad del municipio, el cual deberá definir políticas claras para su manejo, zonificación y mantenimiento.

Por otro lado, en áreas aún no afectadas por modificaciones antrópicas, como la mayor parte de los sectores centro y sur, se aconseja evitar la intervención en la medida de lo posible, optando por medidas de abstención. Reconociendo la importancia de preservar estos entornos en su estado natural, en especial aquellos protegidos por encontrarse dentro de reservas naturales, estas medidas ayudarán a preservar la flora y fauna autóctona de acuerdo con lo expresado en la Ley Provincial N° 11.723.

Resumen

Las medidas propuestas para cada sector se resumen a continuación:

- En los sectores centro y sur de la zona de estudio se proponen medidas de abstención, debido a que son zonas sin intervención antrópica directa, y si bien hay sectores costeros que presentan una tendencia a la erosión, también hay otros que en los últimos años se han mantenido relativamente estables. En los casos en los que se registra una tendencia erosiva, cualquier

intento por minimizar la erosión costera mediante la implementación de medidas de moderación o de acorazamiento podría generar un impacto negativo en la dinámica. Los posibles impactos de medidas estructurales en este sector podrían significar un riesgo innecesario para la costa comprendida dentro de la Reserva Natural El Destino.

- En el sector norte, en principio se propone adoptar medidas similares a las propuestas para el resto de la zona de estudio. Estas se pueden complementar con medidas de adaptación, con la generación de márgenes de retiro. Sin embargo, si el interés del municipio y la población por mantener las zonas de recreación se opusiera a este enfoque, se podría contemplar la aplicación de medidas de restauración, con movilización de sedimentos de la planicie estuárica y relleno de playa.
- La aplicación de medidas de monitoreo está aconsejada para toda la zona de estudio, esto abarca el establecimiento de márgenes de retiro, el monitoreo activo de la posición de la línea de costa y análisis geoquímicos de agua.

10. CONCLUSIONES

El análisis realizado en este trabajo permitió llegar a una serie de conclusiones y consideraciones finales que son enumeradas a continuación:

Un mapeo geomorfológico de la zona de estudio fue elaborado en escala 1:120.000, facilitando el reconocimiento de los sectores aludidos en el trabajo y las geoformas costeras que los componen. Esto permitió el análisis de la evolución geomorfológica holocena de la zona y los rasgos asociados a la dinámica costera actual.

Se realizó el relevamiento de afloramientos en el sector de la Reserva El Destino. Por su composición granulométrica (predominantemente sedimentos arcillosos), la presencia de raíces y de residuos plásticos de origen antrópico, se asignó la totalidad del perfil a la Formación Río Santiago.

Se elaboraron 4 perfiles topográficos de playa mediante el uso de estación total, los resultados indican que el perfil 3 (Magdalena) presenta la mayor intervención antrópica, evidenciada por el abrupto relieve que representa el muro de contención allí colocado. Este es el único perfil en el que no se observa el desarrollo de la planicie estuárica. Estos factores, sumados a otras observaciones como la presencia de un mayor porcentaje de material fino y la presencia de abundante vegetación estuario adentro, sugieren una dinámica costera alterada en este sector.

La relación entre los anchos de playa o sus pendientes con la ubicación de los perfiles no muestra una tendencia lineal clara.

El análisis granulométrico de los sedimentos de playa muestra un vasto predominio de granos de tamaño arena fina a muy fina en las fracciones modales de las muestras recogidas. Éstas exhiben distribuciones unimodales con asimetrías negativas o simétricas en la mayoría de los casos y muestran a la saltación como mecanismo de transporte imperante. Las muestras tomadas a lo largo del perfil 3 (Magdalena) muestran una mayor proporción de material fino transportado por suspensión que el resto de los perfiles, reafirmando la posibilidad de una dinámica alterada por las medidas de protección instaladas en ese sector.

La composición de los sedimentos, tal como se pudo observar mediante el análisis petrográfico de los cortes delgados realizados, corresponde a fragmentos líticos,

cuarzo y plagioclasas. Los fragmentos líticos, en su mayoría de origen volcánico, constituyen entre el 49 y el 61% de las fracciones modales. Siguen en orden de abundancia, las plagioclasas y el cuarzo, con proporciones entre el 13 y el 23%. Los canales tienden a concentrar una mayor proporción de líticos volcánicos que las barras. Sin embargo, no es posible establecer una tendencia clara de variación composicional a lo largo de la costa.

Se sugiere que las principales fuentes de aporte son los sedimentos del río Paraná, provenientes del noroeste, y los provenientes de los afloramientos de la costa central y sur de Buenos Aires, transportados por la deriva litoral desde el sureste.

La movilidad de la línea de costa presenta un comportamiento mixto, con fluctuaciones que se presentan tanto cuando se analiza un mismo sector a lo largo del tiempo como cuando se analizan varios sectores en un mismo rango temporal. Esto dificulta una caracterización general de su comportamiento. Cuando se analiza la dinámica de los últimos 10 años, puede distinguirse un sector norte con mayor variabilidad y una tendencia sostenida a la progradación, y un sector centro-sur relativamente estable, aunque también existen zonas puntuales de gran variabilidad (tanto erosiva como progradacional) dentro de este último, así como zonas más estables en el sector norte.

El análisis histórico de los movimientos de la línea de costa evidencia que en el pasado los mismos eran de mayor magnitud que los actuales. Éstos se concentran en el sector norte. Este sector es el más afectado por intervención antrópica por lo cual no debe descartarse una relación de causa y efecto entre dichas modificaciones y las grandes variaciones en la dinámica costera.

Es posible establecer que los períodos dominados por la progradación poseen variaciones de mayor magnitud y son más duraderos que los períodos erosivos. Destacando el período 1961-1984 por sus grandes tasas de progradación.

Sobre la base de lo anteriormente mencionado, se propone un enfoque conservacionista para el manejo costero. Para los sectores centro y sur, se proponen medidas de abstención, ya que prácticamente no presentan intervención antrópica y además, albergan ecosistemas vulnerables. Para el sector norte, se propone adoptar una perspectiva similar, permitiendo el equilibrio natural de la dinámica costera y complementando con medidas de adaptación. Otro enfoque

posible, con el objetivo de conservar las áreas de recreación contempla la aplicación de medidas de restauración a medida que estas se pierdan debido a la depositación de sedimentos del estuario. Por último, se recomiendan medidas de monitoreo activo de la posición de la línea de costa y controles de calidad del agua superficial y subterránea en toda la zona de estudio.

AGRADECIMIENTOS

Gracias:

A la Universidad de Buenos Aires.

A mis directores, en especial a Paula por su paciencia.

A Ojotas, por haber ido a cursar.

A mis padres, por el apoyo económico y moral.

A Cami, por apoyarme en el proceso de escribir este trabajo.

A Fefi, la luz de mis ojos.

BIBLIOGRAFÍA

Acha, E.M., Mianzan, H., Guerrero, R., Carreto, J., Giberto, D., Montoya, N. y Carignan, M., 2008. An overview of physical and ecological processes in the Rio de la Plata Estuary. *Continental Shelf Research*, 28, 1579-1588. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2007.01.031>

Amato, S. y Silva Busso, A., 2005. Análisis de Interrelación Geológica-Hidrogeológica en el área del delta del Río Paraná, Provincias de Entre Ríos y Buenos Aires, República Argentina. XVI Congreso Geológico Argentino, Actas III: 697-704. La Plata, Buenos Aires.

Amato, S., y Silva Busso, A., 2006. Relaciones estratigráficas e hidroquímicas de los acuíferos Pampeano y Puelches en el noreste de la provincia de Buenos Aires. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales nueva serie*, 8(1), 9-26.

Ameghino, F., 1880. La Formación Pampeana o estudio sobre los terrenos de transporte de la Cuenca del Plata. G. Mason, París, 376 p.

Ameghino, F., 1889. Contribución al conocimiento de los mamíferos fósiles de la República Argentina: Actas Academia Nacional de Ciencias de la República Argentina, Vol. 6, 1027 p. Córdoba, Argentina.

Amsler, M., 1995. Carga de lavado del Río Paraná en sus tramos medio e inferior, Origen, comportamiento anual, concentraciones y caudales sólidos. Análisis del avance del frente del delta del Río Paraná. Laboratorio de Hidráulica del Instituto Nacional del Agua (INA) . Reporte técnico, 48 pp.

Athor, J., 2009. Parque Costero del Sur: Magdalena y Punta Indio, provincia de Buenos Aires: naturaleza, conservación y patrimonio cultural. Fundación de Historia Natural Félix de Azara. Buenos Aires, 528p.

Auge, M.P., Hernández, M.A. y. Hernández, L., 2002. Actualización del conocimiento del acuífero semiconfinado Puelche en la Provincia de Buenos Aires, Argentina. 32º *IAH Congress – 6º Congreso ALHSUD*, Mar del Plata. Actas en CD Rom, Libro de Resúmenes 4: 79, 624-633.

Blasi, A.M., Zarate, M.A. y Kemp, R.M., 2001. Sedimentación y pedogénesis cuaternaria en el noreste de la pampa bonaerense: la localidad de Gorina como caso de estudio. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*, 8: 77-92.

Bidegain, J.C. y Rico, Y., 2004. Mineralogía magnética y registros de susceptibilidad en sedimentos cuaternarios de polaridad normal (Brunhes) y reversa (Matuyama) de la cantera de Juárez, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59: 451-461. Buenos Aires.

Blott, S., 2020. A Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments by Sieving or Laser Granulometer, *Gradistat V9.1 Software*, 1-6.

Boschi, E.E., 1988. El ecosistema estuarial del Río de la Plata (Argentina y Uruguay). *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México*, 15(2): 159-182.

Bunicocontro, E., 2023. Geomorfología y dinámica costera del sector comprendido entre Punta Indio y Punta Piedras, provincia de Buenos Aires. Trabajo Final de Licenciatura, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires (inédita), 104 p., Buenos Aires.

Cavallotto, J. L., 1988. Interpretación morfológica del Río de la Plata. Simposio Internacional sobre el Holoceno en América del Sur, Paraná, Entre Ríos, Resúmenes expandidos: 65-68

Cavallotto, J.L., 1995. Evolución geomorfológica de la llanura costera ubicada en el margen sur del Río de la Plata. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata (inédita), 237 p. La Plata.

Cavallotto, J. L., 2002. Evolución holocena de la llanura costera del margen sur del Río de la Plata. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 57(4), 376-388. Buenos Aires.

Cavallotto, J. L., y Violante, R. A., 2005. Geología y Geomorfología del Río de la Plata. En: De Barrio, R., Etcheverry, R., Caballé, M. y Llambías E. (eds.): Geología y recursos minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio XVI Congreso Geológico Argentino, Asociación Geológica Argentina, Vol. 14, 237-253. La Plata.

Cavallotto, J. L., Bonomo, N., Grunhut, V., Medina, P. Z., Violante, R. A., Onnis, L., y Osella, A., 2020. Shallow geophysical methods for recognition of holocene sedimentary sequences in the southern coastal plain of the Río de la Plata (Argentina). *Journal of South American Earth Sciences*, 102, 102662. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102662>

Cellone, F., Carol, E., y Tosi, L., 2016. Coastal erosion and loss of wetlands in the middle Río de la Plata estuary (Argentina). *Applied Geography*, 76, 37-48. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.09.014>

Cellone, F. A., 2019. Evaluación de los recursos hídricos en un sector de la planicie costera del Río de la Plata. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata (inédito), 276p. La Plata.

Codignotto, J. O., y Aguirre, M. L., 1993. Coastal evolution, changes in sea level and molluscan fauna in northeastern Argentina during the Late Quaternary. *Marine Geology*, 110(1-2), 163-175. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(93\)90112-9](https://doi.org/10.1016/0025-3227(93)90112-9)

D'Amico, G., Fucks, E. E., y Carut, C., 2019. Dinamismo, complejidad y especificidad de los litorales estuarinos: análisis de la dinámica litoral en Punta Atalaya, Buenos Aires, Argentina. *Cuadernos de investigación geográfica*, 45(2), 729-750.

Darwin, C., y Sowerby, G. B., 1846. Geological observations on South America: Being the third part of the geology of the voyage of the Beagle, under the command of Capt. Fitzroy, RN during the years 1832 to 1836. Reino Unido: Smith, Elder and Company.

Depetris, P.J. y Griffin, J.J., 1968. Suspended Load in the Río De La Plata Drainage Basin. *Sedimentology*, 11: 53-60.

Dickinson, W. R., Beard, L. S., Brakenridge, G. R., Erjavec, J. L., Ferguson, R. C., Inman, K. F., Kneep, R. A., Lindberg, F. A. y Ryberg, P. T., 1983. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, 94: 222-235.

Escobar, G., Vargas, W., y Bischoff, S., 2004. Wind tides in the Rio de la Plata estuary: meteorological conditions. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 24(9), 1159-1169. <https://doi.org/10.1002/joc.1026>

Fidalgo, F., Colado, U.R. y De Francesco, F.O., 1973a. Sobre ingresiones marinas cuaternarias en los partidos de Castelli, Chascomús y Magdalena (Provincia de Buenos Aires). 5° Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 225- 240. Córdoba, Argentina.

Fidalgo, F., De Francesco, F. y Colado, U., 1973b. Geología superficial en las hojas Castelli, J. M. Cobo y Monasterio (Pcia. de Bs. As.). 5° Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 27-39. Córdoba, Argentina.

Folk, R. L., Andrews, P. B. y Lewis, D. B., 1970. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 13: 937-968. <https://doi.org/10.1080/00288306.1970.10418211>

Fossati, M., Santoro, P., Mosquera, R., Martínez, C., Ghiardo, F., Ezzattib, Pedochi F. y Piedra-Cueva, I., 2014. Dinámica de flujo, del campo salino y de los sedimentos finos en el Río de la Plata. *Revista Iberoamericana del Agua*, 1(1), 48-63. [https://doi.org/10.1016/S2386-3781\(15\)30007-4](https://doi.org/10.1016/S2386-3781(15)30007-4)

Frenguelli, J., 1946. Las grandes unidades físicas del territorio argentino. *Geografía de la República Argentina*, 5-357.

Frenguelli, J. 1950. Rasgos generales de la morfología y la geología de la Provincia de Buenos Aires. *Lab. Ensayos Materiales Invest. Tecnol. (LEMIT), Serie 2(33): 1-72, La Plata.*

Fucks, E. E., Schnack, E. J., y Aguirre, M. L., 2010. Nuevo ordenamiento estratigráfico de las secuencias marinas del sector continental de la Bahía Samborombón, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 67(1), 27-39. Buenos Aires.

Fucks, E. E., y Violno, M. F., 2017. Cuaternario y geomorfología de Argentina. *Series: Libros de Cátedra.*

Glorioso, P. y Boschi, E.E., 1982. Informe interno. Las condiciones ambientales de la región estudiada en las campañas del BIP "Capitan Cánepa" CO3/81 y CO14/81, INIDEP, 32 pp.

Gómez Samus, M. L., Olivo, M. S., Rico, Y., Cellone, F. A., y Bidegain, J. C., 2020. Magnetismo ambiental y sedimentología en una sucesión del Pleistoceno Temprano-Antropoceno, en la costa sur del Río de la Plata: implicancias estratigráficas y paleoambientales. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 77 (1): 144-162. Buenos Aires.

González Bonorino, F., 1965. Mineralogía de las fracciones arcilla y limo del Pampeano en el área de la Ciudad de Buenos Aires y su significado estratigráfico y sedimentológico. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 20: 67-148. Buenos Aires.

Groeber, P., 1945. Las aguas surgentes y semisurgentes del norte de la Provincia de Buenos Aires. *Revista La Ingeniería*, 49(6), 371-387.

Guerrero, R. A., Acha, E. M., Framiñan, M. B. y Lasta, C. A., 1997a. Physical oceanography of the Río de la Plata Estuary, Argentina. *Continental Shelf Research* 17(7): 727-742. [https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(96\)00061-1](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(96)00061-1)

Guerrero, R. A., Lasta, C. A., Acha, E. M., Mianzan, H. W. y Framiñan, M. B., 1997b. Atlas Hidrográfico del Río de la Plata. Comisión Administradora del Río de la Plata-Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Buenos Aires-Montevideo.

Hernández, M.A., 1975. Efectos de la sobreexplotación de aguas subterráneas en el Gran Buenos Aires y alrededores. República Argentina. 2° Congreso Ibero-Americano de Geología Económica, Actas 1: 417-450. Buenos Aires.

Introcaso, A., y Ramos, V., 1984. La cuenca del Salado: un modelo de evolución aulacogénica. IX Congreso Geológico Argentino, Vol. 3: 27-46. San Carlos de Bariloche.

Keidel, J., 1925. Sobre el desarrollo paleogeográfico de las grandes unidades geológicas de la Argentina. Sociedad Argentina de Estudios Geológicos GAEA, Anales 4, 251–312.

Leturia, M. F., y Nugoli, S. C., 2017. La contaminación por hidrocarburos. El caso “Magdalena”. Anales de la Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales de la Universidad Nacional de La Plata, (46).

López, R. Á., y Marcomini, S. C., 2011. Problemática de los ambientes costeros: Sur de Brasil, Uruguay y Argentina. First ed. Editorial Croquis SRL, Buenos Aires.

Marcomini, S. C., y López, R., 2011. Historia de la costa de Buenos Aires. *Ciencia hoy*, 21(123), 41-48.

Marcomini S. C. y López R., 2014. Erosión y manejo costero. Ed. Eudeba, Buenos Aires. 92 p.

Marcomini, S. C. y López, R., 2021. Dinámica morfosedimentaria de las playas antropicas de la Ciudad de Buenos Aires. ¿posibles registros costeros del Antropoceno?. Revista De La Asociación Geológica Argentina, 78(1), 61-74. Buenos Aires.

Martínez, M. P., García Lerena, M. S., y Paleo, M. C., 2018. Puertos, pueblos y saladeros. Magdalena y Atalaya: crecimiento urbano de dos pueblos vinculados en la ribera del río de La Plata. Urbania. Revista latinoamericana de arqueología e historia de las ciudades, 7, 47-68.

Melo, M., Carol, E. S., Laurencena, P. C., y Deluchi, M., 2013. Características hidrogeomorfológicas del humedal costero de Atalaya (Argentina). VIII Congreso Argentino de Hidrogeología y VI Seminario Latinoamericano sobre Termas Actuales de la Hidrología Subterránea, La Plata, 246-249.

Melo, M., 2019. Geohidrología de la planicie costera del Río de la Plata medio, partido de Magdalena. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata (inédito), 110 p. La Plata.

Moreira, D. y Simionato, C., 2019. The Río de la Plata estuary hydrology and circulation. Meteorológica, Vol 44, n. 1, 1-30.

Orbigny, A. d', 1842. Quelques considérations zoologiques et géologiques sur les Rudistes. *Annales des Sciences Naturelles*, (2)17: 173-192.

Parker, G., Marcolini, S., Cavallotto, J.L. y Violante, R.A., 1987. Modelo esquemático de dispersión de sedimentos en el Río de la Plata. Revista Ciencia y Tecnología del Agua, 1, 4: 68-80. Santa Fe, Argentina.

Parker, G., Marcolini, S., 1989. Transporte de sedimentos en el Río de la Plata. Revista de la Asociación Argentina de Mineralogía, Petrología y Sedimentología, 20(1/4): 43-52.

Parker, G., 1990. Estratigrafía del Río de la Plata. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 45 (3-4): 193-204

Parker, G., y Violante, R. A., 1993. Río de la Plata y regiones adyacentes. En: M. Iriondo (Ed.): El Holoceno en la Argentina. *CADINQUA*, 2, 163-216.

Parker, G., Violante, R. A., Paterlini, C. M., Costa, I. P., Marcolini, S. I., y Cavallotto, J. L., 2008. Las secuencias depositacionales del Plioceno-Cuaternario en la plataforma submarina adyacente al litoral del este bonaerense. *Latin American journal of sedimentology and basin analysis*, 15(2), 105-124.

Pascual, R., Ortega Hinojosa, E. J., Gondar, D., y Tonni, E. P., 1965. Las edades del Cenozoico mamalífero de la Argentina, con especial atención a aquellas del territorio bonaerense. Anales de la Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires, Vol. 6, 165-193.

Pereyra, F. X., y Tobío, M. I., 2018. Geomorfología de la Provincia de Buenos Aires. Servicio Geológico MInero Argentino. Serie Contribuciones Técnicas - Ordenamiento Territorial, N°9, 85p.

Ramos, V. A., 1999. Rasgos estructurales del territorio argentino. En: Caminos, R. (Ed.): Geología Argentina, Anales, 29(24), 15-75.

Richiano, S., Varela, A. N., D'Elia, L., Bilmes, A., y Aguirre, M., 2012. Evolución paleoambiental de cordones litorales holocenos durante una caída del nivel del mar en la Bahía Samborombón, Buenos Aires, Argentina. *Latin American journal of sedimentology and basin analysis*, 19(2), 105-124.

Riggi, J., Fidalgo, F., Martínez, O. y Porro, N., 1986. Geología de los Sedimentos Pampeanos en el partido de La Plata. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 41(3-4), 316–333. Buenos Aires.

Rossello, E. A., Veroslavsky, G., de Santa Ana, H., y Rodríguez, P., 2018. Geology of the Río de la Plata and the surrounding areas of Argentina and Uruguay related to the evolution of the Atlantic margin. *Journal of South American Earth Sciences*, 83, 147-164. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2017.12.010>

Sala, J. M. 1975. “Recursos Hídricos, Especial Mención de las Aguas Subterráneas” Relatorio Geología de la Pcia. de Buenos Aires. IV Congreso Geológico Argentino, 169 - 193. Buenos Aires.

Santa Cruz, J. N., 1972. Estudio sedimentológico de la Formación Puelches en la provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 27(1), 5-62. Buenos Aires.

Santa Cruz, J. N., 1993. Aspectos hidrogeológicos e interpretación de una nueva característica formacional de subyacencia del Acuífero Puelches. Prov. de Bs. As., Argentina. *Temas Actuales de la Hidrología Subterránea*. Universidad Nacional de Mar del Plata. C.F.I. pp 261-272

Sarubbi, A., y Menéndez, Á. N., 2007. Un modelo numérico para representar el avance del Frente del Delta del río Paraná a escala secular. *Mecánica Computacional*, (22), 2203-2216.

Schnack, E., Isla, F., De Francesco, F. y Fucks, E., 2005. Estratigrafía del Cuaternario Marino Tardío en la Provincia de Buenos Aires. En: De Barrio, R., Etcheverry, R., Caballé, M. y Llambías E. (eds.): *Geología y Recursos Minerales de la provincia de Buenos Aires*, Relatorio XVI Congreso Geológico Argentino, Asociación Geológica Argentina, 159-182. La Plata.

Seluchi, M.E., 1995. Diagnóstico y pronóstico de situaciones sinópticas conducentes a ciclogénesis sobre el este de Sudamérica. *Geofísica Internacional*, 34(2), 171-186.

Seluchi, M.E. y Saulo, A.C., 1996. Possible mechanisms yielding an explosive coastal cyclogenesis over South America: experiments using a limited area model. *Australian Meteorology Magazine*, 47(4), 309-320.

Silva Busso, A., & Amato, S. D., 2009. Variaciones Paleoambientales e Hidroquímica del Acuífero Puelches en Área del “Delta del Río Paraná” VI Congreso Hidrogeológico y V Simposio Iberoamericano sobre temas actuales en Hidrogeología, Santa Rosa, La Pampa, Argentina. Acta en CD, 26-30.

Spalletti, L., Matheos, S., y Poiré, D., 2020. Sedimentology of Holocene littoral ridges of Bahía Samborombón (Buenos Aires Province, Argentina). En: Rabassa, J. (Ed): Quaternary of South America and Antarctic Peninsula. Londres, CRC Press. pp. 111-132.

Stappenbeck, R., 1926. Geologie und Grundwasserkunde der Pampa. Schweizerbart.

Tricart, J.1973. Geomorfología de la Pampa Deprimida. Base para los estudios edafológicos y agronómicos, INTA, Vol. XII Colección Científica, Buenos Aires. pp. 171-197.

Urien, C.M., 1972. Río de la Plata estuary environments. Memoir of the Geological Society of America, 133:213-234.

Varela, J. M., 2020. Evaluación de calidad química del agua subterránea frente a problemáticas puntuales de contaminación en establecimientos pecuarios del Partido de Magdalena, provincia de Buenos Aires.

Vera, C.S., Vigliarolo, P.K. y Berbery, E.H., 2002. Cold season synoptic scale waves over subtropical South America. *Monthly Weather Review*, 130(3), 684-699. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2002\)130<0684:CSSSWO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2002)130<0684:CSSSWO>2.0.CO;2)

Violante, R. A, Parker, G., Cavallotto, J. L., y Marcolini, S., 1992. La secuencia depositacional del Holoceno en el Río de la Plata y la Plataforma del noreste bonaerense. Resumen. 4 Reunión Argentina de Sedimentología. 1: 275-282. La Plata - Buenos Aires.

Violante, R., Parker, G. y Cavallotto, J. L., 2001. Evolución de las llanuras costeras del este bonaerense entre la Bahía Samborombón y la laguna mar chiquita durante el holoceno. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 56(1), 51–66. Buenos Aires.

Violante, R. A., Cavallotto, J. L., y Kandus, P., 2008. Río de la Plata y Delta del Paraná. En: CSIGA (Ed.): Sitios de Interés Geológico de la República Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino, Anales, 46(2), 461-75. Buenos Aires

Yrigoyen, M. R., 1975. Geología del subsuelo y plataforma continental. En: Relatorio Geología de la Provincia de Buenos Aires. 6° Congreso Geológico Argentino, Vol. 6, Actas: 139-168, Bahía Blanca.

Yrigoyen, M., 1993. Morfología y geología de la ciudad de Buenos Aires. Actas Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería, 7, 7-38. Buenos Aires.

Zambrano, J. J., 1974. Cuencas sedimentarias en el subsuelo de la provincia de Buenos Aires y zonas adyacentes. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 29(4), 443-469. Buenos Aires.

Zárate, M., 2005. Cenozoico tardío continental de la provincia de Buenos Aires. En De Barrio, R., Etcheverry, R., Caballé, M., Llambías, E. (Eds.): Geología y recursos minerales de la Provincia de Buenos Aires, Relatorio XVI Congreso Geológico Argentino, Asociación Geológica Argentina, 139-158. La Plata.

Zárate, M. y Rabassa J., 2005. Geomorfología de la provincia de Buenos Aires. En De Barrio, R., Etcheverry, R., Caballé, M., Llambías, E. (Eds.): Geología y recursos

minerales de la Provincia de Buenos Aires, Relatorio XVI Congreso Geológico Argentino, Asociación Geológica Argentina, 119-138. La Plata.

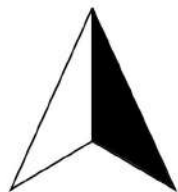
Sitios web consultados:

- Instituto Geográfico Nacional (IGN). <https://www.ign.gob.ar/>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. República Argentina (INDEC). <https://www.indec.gob.ar/>
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). <https://www.argentina.gob.ar/inta>
- Oficina de turismo de Magdalena <https://turismomagdalena.gob.ar/>
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). <https://www.smn.gob.ar/>
- UNESCO. Reserva de la Biósfera Parque Costero <https://en.unesco.org/biosphere/lac/parque-costero-del-sur>
- Servicio de Hidrografía Naval <http://www.hidro.gov.ar>.

ANEXO:
MAPA GEOMORFOLÓGICO

57°30' O

57°22' O



MAPA GEOMORFOLÓGICO DE LA LOCALIDAD DE MADGALENA Y ALREDEDORES, PROVINCIA DE BUENOS AIRES

TRABAJO FINAL DE LICENCIATURA

Autor: Juan Leandro Alvarez Assat

Año: 2023

Directora: Dra. María Paula Buniconro

Co-Director: Dr. Rubén Álvaro López

Referencias:

- Playa
- Planicie estuárica
- Terraza de acumulación marina
- Cordones litorales (set 1)
- Cordones litorales (set 2)
- Planicie de marea ascendida
- Bajos inundables
- Cursos fluviales permanentes
- Cursos fluviales efímeros
- Calles y caminos
- Zona urbana (Atalaya)
- Ubicación de perfiles topográficos

