



Caracterización morfosedimentaria de las playas antrópicas de la Ciudad de Buenos Aires. ¿Nuevos depósitos del Antropoceno?

Silvia Cristina MARCOMINI^{1,2} y Rubén Álvaro LÓPEZ^{1,2,3}

¹ Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias Geológicas, Grupo de Investigación de Geomorfología y Geología Costera, Buenos Aires.

² CONICET - Universidad de Buenos Aires, Instituto de Geociencias - Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires (IGEBA), Buenos Aires.

³ Universidad Nacional de Avellaneda, Buenos Aires

Email: scm@gl.fcen.uba.ar

Editor: Diego A. Kietzmann

Recibido: 18 de febrero de 2020

Aceptado: 23 de julio de 2020

RESUMEN

El avance de la ciudad de Buenos Aires sobre el Río de la Plata ha modificado la geomorfología y sedimentología de las playas y el aporte de sedimentos al sistema litoral. Durante el proceso de urbanización la costa de la Reserva Ecológica Costanera Sur progradó artificialmente 2.2 km aproximadamente. El relleno se produjo mediante la depositación de materiales de dragado extraídos del lecho del estuario, de escombros de demolición y de sedimentos extraídos de las excavaciones para la construcción de subterráneos. De este modo, se incorporaron a la dinámica litoral materiales industrializados (arena, piedra partida, canto rodado, yeso, cemento, ladrillo, vidrio entre otros) y sedimentos naturales como limos arenosos y loess del Pampeano. En este trabajo se caracteriza la morfodinámica y sedimentología de las playas resultantes del accionar de estos materiales de relleno urbano con el sistema estuarial (olas, corrientes litorales y mareas), desde la construcción de la Reserva Ecológica Costanera Sur en el año 1978. Se han reconocido importantes variaciones tanto texturales como morfológicas entre las playas originarias y las actuales. Las playas actuales tienen mayores pendientes ($4^{\circ} 37'$ a $6^{\circ} 03'$), perfiles morfodinámicos de intermedios a reflectivos y están compuestas por sedimentos de mayor tamaño (moda: 2 phi) y peor seleccionados. Otra característica distintiva es que la arena tiene muy baja proporción (inferior al 7 %) de arena muy fina (moda: 3.5 phi), mientras que en las playas originarias esta fracción representaba el 98 %. Por consiguiente, se estima que, en las playas actuales, la arena de tamaño superior a 2.5 phi, (más del 90 %), proviene de la degradación de la matriz del hormigón y no es propia de la dinámica sedimentaria del estuario. Esta fracción de arena se concentra en la zona intermareal baja a submareal formando una planicie arenosa. También se concluye que la fracción grava es alóctona y proviene mayormente de la meteorización del agregado grueso del hormigón; predominando en la fracción guijarro los clastos de hormigón y asfalto, mientras que en la fracción guija los materiales pétreos (piedra partida y rodados). Esta última compone la mayor parte de los subambientes de las playas distal y frontal. Se ha estimado que se aportarían, 38 m^3 de arena y 47 m^3 de agregados pétreos (grava) al sistema litoral, por cada 100 m de frente por la meteorización de cada decímetro de escombros expuesto en superficie. Estos cambios morfológicos y texturales pueden producir consecuencias ecológicas y condicionar la adaptación de los organismos y ecosistemas continentales y acuáticos. Las nuevas playas antrópicas carecen en la actualidad de valor cultural y económico, pero es importante en el futuro incentivar la valoración ambiental y la conservación de estos nuevos ecosistemas estuariales. Estos depósitos podrían presentar las condiciones para ser considerados como registros sedimentarios y geoformas antrópicas del Antropoceno.

Palabras clave: *Urbanización, Dinámica, playas antrópicas, Antropoceno.*

ABSTRACT

Morphosedimentary characterization of anthropic beaches in Buenos Aires city. ¿Has the Anthropocene new beaches deposits?.

The coastal advance of Buenos Aires city over the Río de la Plata modified beach geomorphology and sedimentology and sediment supply to the coastal system. During the urbanization process the coastal zone of Reserva Ecológica Costanera Sur has been filled with demolition debris, incorporating raw (sand, split stone, gravel) and construction materials (plaster, cement, brick, glass). This work attempts to characterize geomorphological and textural beaches features resulting from the interaction between the estuarial system (waves, coastal currents and tides) and urban landfill materials since Reserva Ecológica Costanera Sur land filling in 1978. Anthropic beaches have steeper slopes than the original ones (4 37' to 6 03') and changed their hydrodynamic characteristics from dissipative to reflective profiles. The grain size distribution of sand in anthropic beaches is coarser (mode: 2 phi), than in original beaches (mode: 3.5 phi) and sediments have a very low proportion of very fine sand (less than 7%). For this reason, sand coarser than 2.5 phi (more than 90% of subtidal sand) come from the degradation of the concrete blocks. We also conclude that gravel is allochthonous and originates from the concrete weathering. Cobble is mainly composed of concrete and asphalt clasts, while pebble by rocky materials (broken and rolled stones) deriving from the coarse aggregates of the concrete. This fraction composes most of the recent beach environments. We estimated that the concrete clasts degradation supply about 38 m³ of sand and 47 m³ of stone aggregates (gravel) to the estuary system, per decimeter of rubbish exposed on the beach surface, along 100 m of coast. These morphological and textural changes may produce ecological consequences and limit the adaptation of continental and aquatic organisms. The new anthropic beaches currently lack of cultural and economic value, but it is important in the future to encourage the environmental assessment and conservation of these new estuarine ecosystems.

Keywords: *Urbanization, beach dynamics, anthropic beaches, Anthropocene*

INTRODUCCIÓN

El incremento de la urbanización en la ciudad de Buenos Aires ha aumentado considerablemente el costo inmobiliario de los terrenos cercanos a la zona litoral y la necesidad de disponer de nuevos espacios verdes para el esparcimiento y recreación de sus habitantes. En consecuencia se produjo una expansión de los terrenos de la ciudad hacia el estuario del Río de la Plata, sin evaluar los problemas ambientales que producirían dicha progradación costera. A estos problemas, se les han sumado la falta de espacio urbano para la disposición final de materiales de desecho de construcción como escombros (demolición de edificios, autopistas, etc.), u otros provenientes de la construcción de túneles subterráneos (canales aliviadores, líneas de subterráneo), entre otros (Marcomini y López 2014). El abandono de estos materiales en el margen del estuario del Río de la Plata formó ecosistemas modernos que dieron lugar a la generación de nuevos modelos de playa. La Reserva Ecológica Costanera Sur constituye un escenario ideal para evaluar y documentar estas alteraciones.

El objetivo del presente trabajo es estudiar las playas desarrolladas en la Reserva Ecológica Costanera Sur (Fig. 1) generadas a partir de la interacción de la hidrodinámica estuarial (olas, corrientes litorales y mareas) con los materiales de relleno urbano. Estas playas están integradas por sedimentos con características texturales completamente distintas a las originales, producto de una dinámica propia.

Por ello, resulta fundamental evaluar su comportamiento hidrodinámico actual. Este estudio es de importancia para pronosticar la evolución, a corto plazo, de estas playas y de esta manera poder proporcionar herramientas para el diseño de futuros planes de manejo de la zona litoral de la ciudad de Buenos Aires.

Diversos estudios se han realizado previamente para caracterizar los ecosistemas litorales modernos de la ciudad de Buenos Aires (Faggi y Cagnoni 1987, Holocwan 1996, Marcomini y López 2004, Stijá y Balbastro 2011). No obstante ello, no existen aún trabajos que vinculen las características morfológicas, texturales y composicionales de estos nuevos modelos de playas con la dinámica estuarial del Río de la Plata y la proveniencia de los sedimentos.

Se plantea en la actualidad un verdadero debate sobre las nuevas geoformas antrópicas y sus depósitos (Goudie 2004, 2006), pero son muy escasos los trabajos que aportan datos sobre terminologías específicas empleadas en zonas costeras. El término playa ha sido utilizado generalmente para definir los depósitos compuestos por sedimentos no consolidados modelados por las olas y mareas (Ellis 1978, Short 1999). Por consiguiente, las playas naturales pueden encontrarse en márgenes de costas marinas, lacustres y estuariales. Por otro lado, distintas terminologías han sido utilizadas para caracterizar la alteración humana en las playas. El término playa artificial se utilizó para aquellos depósitos formados por reemplazamiento o recarga de sedimentos, por medios artificiales, en sectores costeros afectados por erosión (Flink y Walker

2002). La primera playa artificial se realizó en Coney Island (Estados Unidos) en 1922 (Domhelm 1995) y en la actualidad es una técnica muy utilizada a lo largo de las costas del mundo. Lo particular de estas playas es que los sedimentos recargados provienen frecuentemente de fuentes localizadas fuera del área de aporte propia de la costa, aunque los materiales que la forman son naturales (Nordstrom 2004). Más recientemente se ha empezado a utilizar el término de playas urbanas, a aquellas que sufrieron modificaciones por el accionar de las actividades humanas (Pagan et al. 2016). Estas alteraciones pueden ser cambios en las corrientes litorales por construcción de diques y puertos, defensas costeras, forestación, impermeabilización entre otras.

Sin embargo, la terminología para playas formadas casi exclusivamente por materiales urbanos aún no ha sido definida. En estos casos la interacción entre la dinámica litoral y los escombros genera depósitos de playa, en los cuales, varía no solo su composición, sino que también el tamaño y la forma de sus clastos. Es decir, las playas antrópicas pueden desarrollarse en cualquier sector litoral sometido al oleaje, corrientes litorales y mareas a partir de la meteorización física y química de materiales industrializados (hormigón, ladrillos, vidrio, asfalto entre otros) depositados por el ser humano en el sector litoral. Este material pasa a incorporarse al transporte litoral. Por consiguiente, se define en este trabajo como playas antrópicas a los depósitos compuestos por materiales industrializados retrabajados por las olas, corrientes y mareas en un sector litoral. Este término será empleado a lo largo de en este trabajo.

MARCO GEOLOGICO

El estuario del Río de la Plata (Fig. 1 a-c) compone un sistema costero muy complejo desde el punto de vista ecológico y ambiental, y es un área de gran valor estratégico. El área de estudio se emplaza sobre el margen sur del estuario, en el extremo sureste de la ciudad de Buenos Aires. La costa estudiada corresponde a la Reserva Ecológica Costanera Sur. Desde el punto de vista geomorfológico regional la zona se divide en dos áreas: una terraza alta y una baja (Yrigoyen 1993). La primera está labrada sobre sedimentos del Pampeano (depósitos loessicos del Plioceno superior – Pleistoceno) ubicados a cotas de más de 20 m de altura, mientras que la segunda correspondería a un evento estuárico marino que ocupaba una cota de 2 a 5 m hacen aproximadamente 6000 años. Actualmente se conserva entre Avellaneda y La Plata, por el sur y entre San Fernando y Tigre hacia el Norte (Fig. 1c).

La geomorfología costera de la Reserva Ecológica Costanera Sur es actualmente antropogénica, integrada por albardones tipo cabo (Marcomini y López 2004) que han generado lagunas y pantanos en su interior figura 1b. Estos albardones están formados por distintos materiales que van desde bloques de mampostería a limos provenientes del Pampeano o del lecho del estuario incorporados por refulado.

Los rasgos geomorfológicos reconocidos en el sector litoral responden a una costa de acumulación estuárica, dominada por dos direcciones principales de corrientes litorales dependiente de las condiciones climáticas. Durante vientos del cuadrante norte se distingue una descarga fluvial hacia el sureste, caracterizada por el transporte de sedimentos en suspensión limos arcillosos relacionada con el aporte del delta del Paraná. Mientras que durante eventos de sudestadas se produce una deriva litoral por el oleaje en sentido inverso con un transporte de sedimentos arenolimosos por tracción-saltación. (Marcomini y López 2006).

Los sedimentos aportados por el sistema fluvial del Paraná y Uruguay forman una pluma de sedimentación que se dispersa en el estuario y avanza hacia el exterior en invierno y se retrae en el verano (Piola et al. 2000). Los sedimentos aportados a las playas del estuario son en general limos arenosos, y se incorporan al sistema como transporte por suspensión y en menor medida por saltación. Las largas anomalías de precipitación en las zonas de las cuencas hidrológicas del Paraná y Uruguay, relacionadas con los períodos del Niño, incrementan significativamente la descarga (Depetris et al. 1996, Mechoso y Pérez-Iribarren 1992).

El régimen de marea que caracteriza al estuario es semi-diurno micromareal y su amplitud varía entre los 0.59 m y 1.54 m (Servicio de Hidrografía Naval, 2020). Las pleamares máximas alcanzan los 1.54 m y las medias 1.09 m. Si bien el régimen es micromareal, la variabilidad del nivel de sus aguas es muy grande, pudiendo alcanzar los 2.8 m durante tormentas ordinarias y más de 4 m en extraordinarias. Este efecto está relacionado fundamentalmente con las forzantes climáticas, las cuales modifican ampliamente las condiciones hidrodinámicas y en consecuencia el transporte de sedimentos. Los datos históricos del nivel del Río de la Plata para el puerto de Buenos Aires mostraron ascensos de hasta 4.40 m y descensos de -1.97 m durante eventos extraordinarios, y de entre 3.00 y 0.80 m durante eventos ordinarios (Pereyra et al. 2001).

MUESTREO Y MÉTODOS DE ESTUDIO

Este estudio está centrado en el análisis textural de los de-

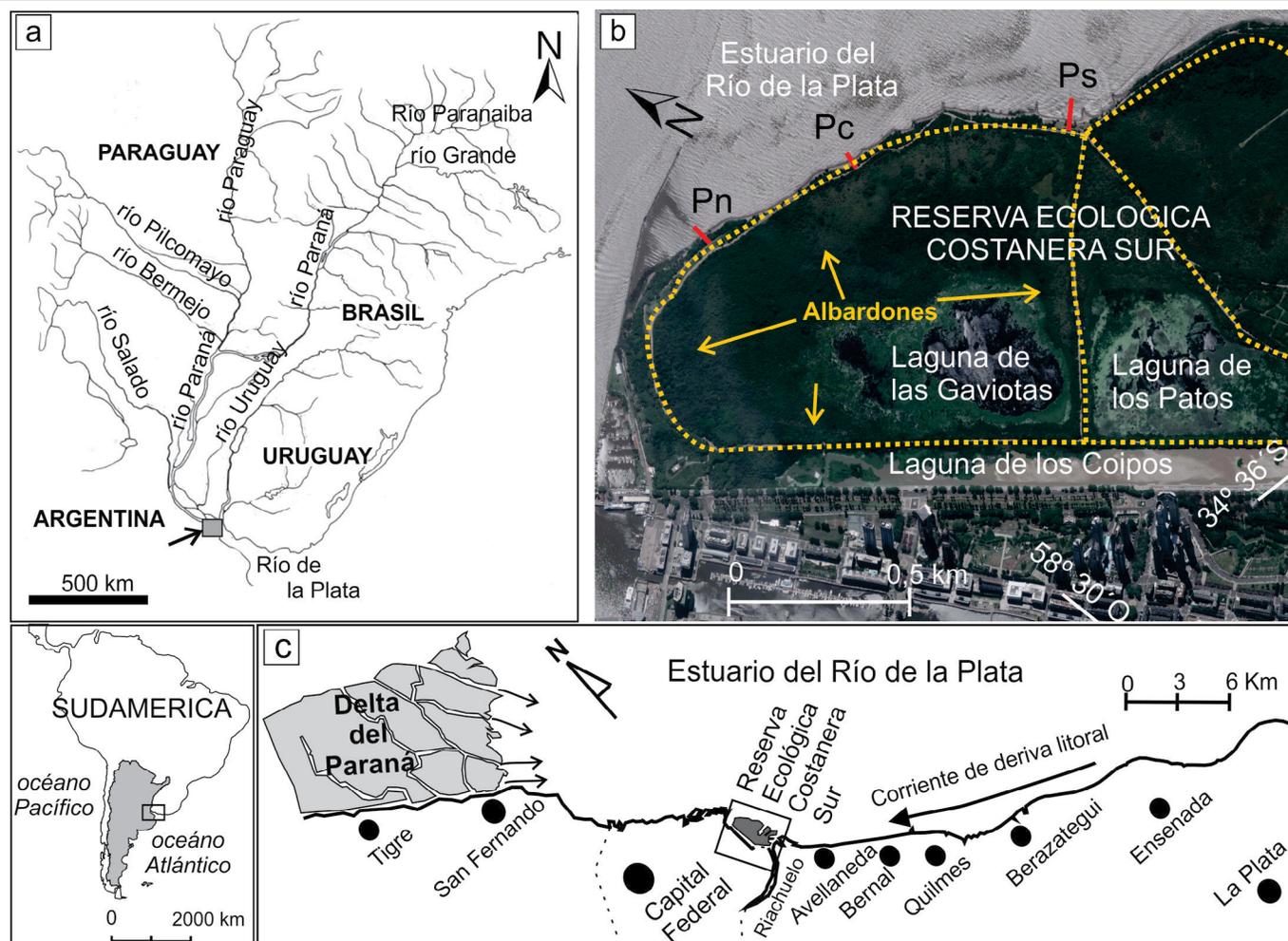


Figura 1. Mapa de ubicación: a) Localización regional; b) Reproducción parcial de una imagen de Google Earth del 24/11/2018 donde se observa el sector norte de La Reserva Ecológica Costanera Sur y la ubicación de los perfiles de muestreo; c) Marco local del área de estudio.

pósitos que componen los sedimentos de playa que integran la Reserva Ecológica Costanera Sur, las playas originarias en el frente del delta (San Fernando) y Avellaneda. Con tal objetivo se realizaron en la reserva tres perfiles topográficos transversales a la costa Perfil norte (Pn), Perfil centro (Pc), Perfil sur (Ps), empleando una Estación Total Spectra Constructor (Fig. 1b), el día 12 de septiembre de 2019, durante una baja marea. Para este relevamiento se seleccionaron los sectores más representativos de las condiciones hidrodinámicas actuales. El nivel del agua del estuario en el momento del muestreo era de 0.58 m para la estación del Río de la Plata y correspondió con un evento de bajante. Los sedimentos que representan las playas originarias fueron extraídos del sector intermareal y en todos los casos se tomaron muestras superficiales.

Se analizaron sedimentos pertenecientes a los subambientes de playa distal (berma), playa frontal (intermareal alto, medio y bajo) y submareal. Los sedimentos fueron tamizados

utilizando la escala granulométrica de Udden-Wentworth. Las fracciones mayores a 6 milímetros fueron medidas con un calibre y clasificadas por su diámetro medio. Se calcularon los parámetros granulométricos estadísticos mediante el método de momentos, y los valores de mediana, moda, media, selección, asimetría y agudeza mediante medidas gráficas (Folk y Ward 1957) con el programa GRADISTAT 8 (Blott y Pye 2001). De cada muestra se graficaron histogramas y diagramas de frecuencia acumulada en papel de probabilidad (Folk 1980), y se clasificaron los sedimentos según los porcentajes de grava (G), arena (A), fango (F) mediante el triángulo propuesto por Folk et al. (1970) y Blott y Pye (2012). Este último sistema utiliza cinco clases de primer orden (bloque, grava, arena, limo, arcilla) y divide cada una en cinco clases de segundo orden en intervalos de phi (muy gruesa, gruesa, media, fina y muy fina).

Para estimar la redondez y la esfericidad se realizaron cuadrículas de 0.5 x 0.5 metros, sobre los sedimentos su-

perfiles de la playa empleando el criterio de Wentworth (1922). Se tomaron fotos de las cuadrículas en el campo y se las compararon con la carta de Krumbein y Sloss (1963). De dicha comparación se obtuvieron parámetros de esfericidad y redondez para cada subambiente y geoforma de playa.

RESULTADOS OBTENIDOS

Caracterización morfológica de las playas originarias

Como se observa en la imagen histórica de fines del siglo XIX (Fig. 2), las playas originarias de la ciudad de Buenos Aires eran altamente disipativas y de muy baja pendiente, estaban formadas por numerosas barras longitudinales depositadas sobre los antiguos niveles de plataforma de abrasión.



Figura 2. Foto de las playas del bajo en la época colonial (aproximadamente 1860). Se distinguen las playas originales disipativas de muy suave pendiente y topografía multibarra. Foto del Departamento de Documentación fotográfica del Archivo General de la Nación.

En la fotografía (Fig. 2) se distingue un grupo de pescadores trabajando sobre una antigua barra longitudinal en las playas del bajo, donde hoy se ubica la Reserva Ecológica Costanera Sur. En la actualidad estas playas naturales solo se conservan al sur del Riachuelo en Avellaneda, Bernal, Quilmes, sitios donde aún no se realizaron rellenos considerables sobre el río (Fig. 3 a y b). Estas barras (Fig. 3 a y b, 1) están formadas por arena muy fina, bien seleccionada, con moda en 2 phi. En las canaletas elongadas entre las barras (Fig. 3 a y b, 2), durante las bajantes, queda retenida el agua del estuario y se produce la sedimentación de los sedimentos más finos. Estas barras arenosas en consecuencia están formadas por el oleaje del estuario y los sedimentos fangosos se depositan posteriormente en condiciones de anegamiento dentro de la misma playa y le infieren una textura heterométrica y heterogénea. Otra característica de esta playa es que carecen de

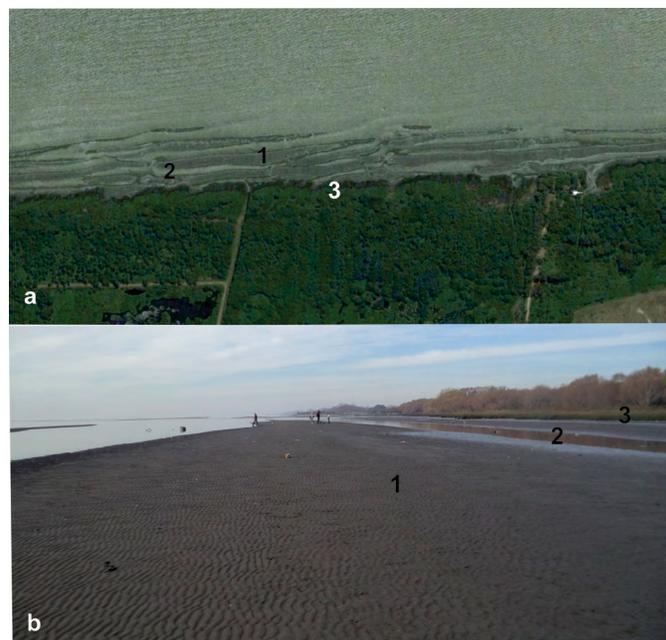


Figura 3. a) Reproducción parcial de una imagen de Google Earth del 24/11/2018; b) Foto actual de la playa original conservada en la costa de Avellaneda. Se distinguen las barras de arena muy fina (*multibar beach topography*) y las canaletas con agua luego de la bajante del río. 1. Cresta de la barra, 2. Seno de la barra. 3. Planicie de progradación estuárica.

playa distal, ya que cuando el depósito alcanza estabilidad, es colonizado rápidamente por juncales (*Scirpus californicus*) y la sucesión ecológica favorece la progradación de la planicie estuárica (Fig. 3 b, 3).

Características morfológicas de las playas actuales de la Reserva Ecológica Costanera Sur

Las playas actuales de la Reserva Ecológica Costanera Sur presentan formas y sedimentos completamente diferentes a las nativas.

En la figura 4 se muestra un ejemplo de playa antrópica. En el mismo se distingue una playa distal formada por grava, con tres bermas de tormenta (Fig. 4 a, 1, 2 y 3), y una playa frontal de arena o arena con grava de menor pendiente (Fig. 4 b, 5). La zona submareal es arenosa y es ocupada por juncales (Fig. 4 b, 6). Los perfiles realizados (Fig. 5) tienen pendientes que varían de $4^{\circ} 37'$ (Ps) a $6^{\circ} 03'$ (Pn). Están integrados por tres segmentos bien diferenciados: playa distal, frontal y sumergida. En todos los perfiles se obtuvo la mayor pendiente en la playa frontal ($7^{\circ} 39'$) y la menor en la playa sumergida ($0^{\circ} 23'$). Esta variación tan significativa de pendientes refleja un cambio en el perfil de playa, pasando de las condiciones disipativas originarias a playas intermedias-reflectivas. Los perfiles presentan un ancho de playa distal de 8 m, estando formada por bermas de tormenta de 2 a 4 m de ancho y de 0.30 a 0.50 m de altura (Fig. 4 a 1, 2 y 3).

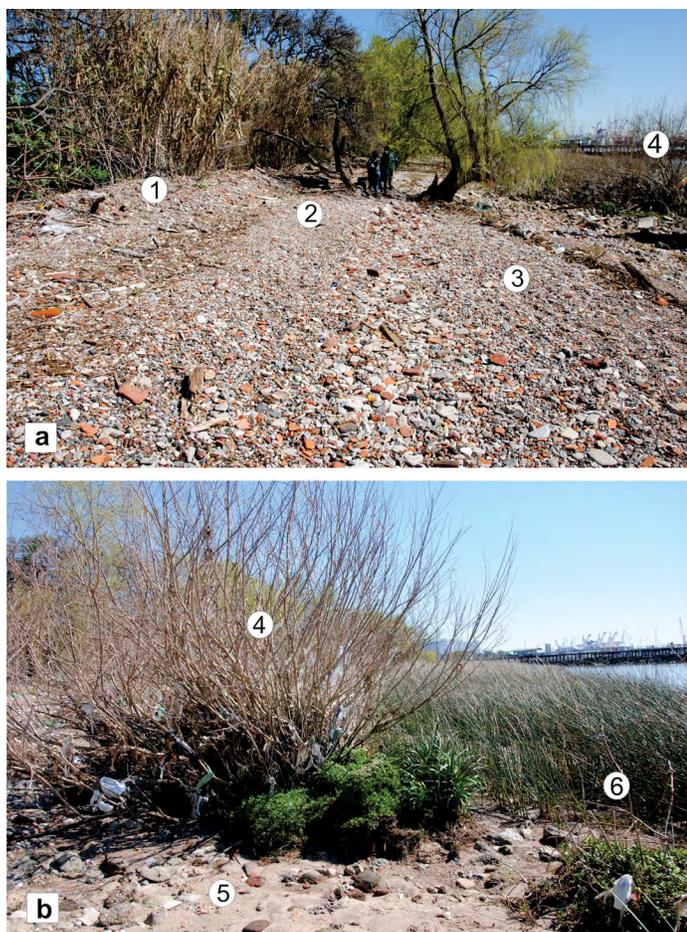


Figura 4. Fotos de las playas antrópicas de la Reserva Ecológica Costanera Sur. a) Playa distal con tres bermas de tormenta (1, 2, 3); b) Playa frontal. 4 Punto de referencia entre ambas fotografías, 5 intermareal alto de arena con grava, 6 intermareal bajo (playa sumergida) arenosa con colonización del junco.

En algunos casos, como en el perfil norte, estas bermas de tormenta se han vegetado y estabilizado, dando inicio a una sucesión ecológica, pasando a constituir un cordón litoral de grava. En consecuencia, se produce un avance de la costa hacia el estuario.

Si bien los perfiles norte y sur muestran características semejantes, el perfil centro es muy diferente debido a los materiales que lo conforman y al escaso tiempo transcurrido desde que fueron depositados. Este perfil está formado principalmente por bloques de adoquín (Fig. 5, 5) que fueron traídos hace algunos años de la isla Martín García y Tandil y bloques de hormigón (Fig. 5, 6), por tal motivo la pendiente es mayor. La playa distal tiene una pendiente de $7^{\circ} 1'$ y la frontal de $1^{\circ} 44'$. No presenta berma pero se distingue una línea de embancamientos orgánicos.

Características texturales

Los sedimentos analizados a lo largo de los tres perfiles relevados permitieron diferenciar características texturales

semejantes para todos subambientes de playa con excepción del perfil centro. Los parámetros estadísticos se muestran en el cuadro 1.

La playa distal está formada por bermas con características texturales muy semejantes (Fig. 5, 1 y 8). Los sedimentos que componen la cresta de estas bermas son de grava gruesa a media (entre -3 y -4.5 phi) moderadamente bien seleccionados (0.60), levemente simétricos y mesocúrticos.

Las canaletas longitudinales que separan las bermas (Fig. 5, 2), están compuestas por sedimentos más gruesos (grava muy gruesa), con media en -5.16 y moda en -5 phi, tienen poblaciones unimodales, son moderadamente bien seleccionados con asimetría levemente negativa y mesocúrtica. El perfil sur presenta diferencias en la playa distal, la cual está compuesta por sedimentos de textura arena gravosa (Fig. 5, 7) con una media en -0.12 phi y con poblaciones bimodales (modas 2 y 0 phi), pobremente seleccionadas con asimetría negativa.

En la playa frontal se observa una diferenciación textural bien marcada hacia el estuario. En esta dirección disminuye el tamaño de grava fina a arena media con grava fina, pero la selección y la asimetría negativa no varían significativamente. (Fig. 5, 3, 4, 9, 10)

El rasgo más distintivo se presenta en la playa sumergida. Este subambiente solo tiene exposición subaérea durante bajantes importantes asociadas con vientos del norte o noroeste. Está formada por una planicie arenosa de muy baja pendiente y constituye el sector con más transporte litoral por su alta exposición al oleaje. Se diferencia un cambio muy importante en la textura de los sedimentos, estando constituidos por arena media con moda en 2 phi y por poblaciones unimodales, moderadamente bien seleccionadas, con asimetría positiva y leptocúrticas.

En el perfil centro, la playa (Fig. 5, Perfil centro), manifiesta claramente un cambio en la configuración y la textura de los sedimentos. La playa distal y frontal está compuestas por guija con tamaños medios de 18 cm, en su mayor parte formada por clastos de adoquín provenientes del empedrado de Buenos Aires. Entre ellos se deposita arena media (Fig. 5, 5), dando lugar al desarrollo de poblaciones polimodales, con modas en -7 phi (adoquín) y -2 phi (canto rodado y piedra partida). La playa sumergida tiene bloques de hormigón planares con un tamaño medio de 62 cm en su diámetro medio (Fig. 5, 6). A diferencia de la playa frontal y distal, la playa sumergida tiene bloques de mayores dimensiones, con poblaciones polimodales, cuyas modas son -9 phi (hormigón), -7 phi (adoquín), -2 phi (piedra partida y canto rodado) y 2 phi (arena).

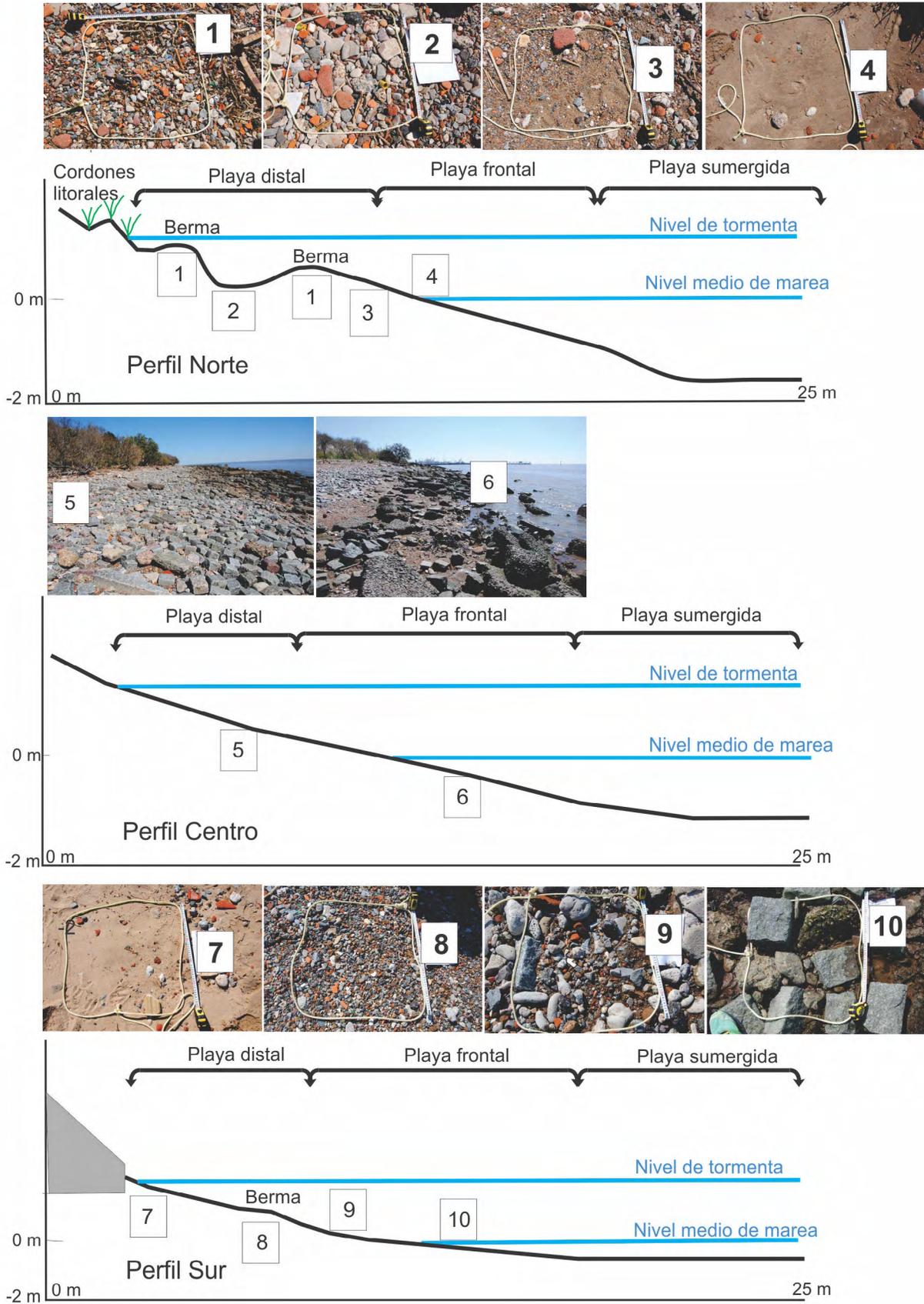


Figura 5. Perfiles de playa y características texturales. Playa distal (5, 7) y Cresta de berma (1, 8), Canaletas entre bermas (2), Playa frontal, intermareal alto (3, 9), Intermareal medio a bajo (4, 6, 10).

Cuadro 1. Caracterización textural de los subambientes de playa correspondientes a playas antrópicas (Perfiles norte, centro y sur) y naturales (barra de desembocadura delta y playa de Avellaneda)

Muestra	Media	Moda	Selección	Asimetría	Kurtosis	Fracciones			Distribución	Clasificación Wentworth (1922)	Grupo textural Blot y Pye (2012)		
						grava	arena	fango					
Perfil Norte	Playa distal	Berma (cresta)	-5.13	-3	0.61	0.18	0.77	100	0	0	U	Grava (Guija)	Grava media
		Berma (seno)	-5.16	-5	0.60	-0.11	1.07	100	0	0	U	Grava (Guija)	Grava muy gruesa
	Playa frontal	Intermareal alto	-1.87	-2 0.5 -4	1.92	-0.11	0.72	61.0	39.0	0	P	Grava (Guija)	Grava fina
		Intermareal medio	0.14	1.5 -2 -3	1.78	-0.55	1.21	23.0	76.6	0.4		Arena gravosa	Arena media con grava fina
		submareal	1.82	2	0.51	0.25	1.80	0	99.4	0.5	P	Arena levemente gravosa	Arena media
Perfil centro	Intermareal alto y playa distal	-7 -2	-7 -2				95.0	5.0	0	P		Bloques pequeños	
	Intermareal bajo y submareal	-9 -7 -2 0.5					82.7	17.3	0	P	Grava (Bloque)	Bloques grandes	
Perfil sur	Playa distal	-0.12	2	1.84	-0.19	0.97	25.8	74.1	0.1	P	Arena gravosa	Arena media con grava muy fina	
	Berma	-3.5	-3	0.56	0.22	0.96	99.8	0.2	0	U	Grava	Grava media	
	Submareal	1.84	2	0.50	0.12	1.21	0	100	0	U	Arena	Arena media	
Avellaneda playa	Barra Intermareal	3.25	3.50	0.35	0.01	1.38	0	98.7	1.3	U	Arena	Arena muy fina	
Delta	Barra de desembocadura	4.81	4.50	1.55	0.48	0.74	0	46.7	53.6	U	Fango Arenoso	Limo grueso con arena muy fina	

Para la clasificación del tamaño de grano de los sedimentos se empleó la escala sugerida por Blot y Pye (2012), por tratarse de materiales con tamaños heterométricos que, en su mayor parte, provienen de materiales industrializados. Dicha clasificación compara criterios empleados en ingeniería civil (Hogentogler y Terzaghi, 1929), suelos ASTM D2487 y las usualmente utilizadas en sedimentología. Esta clasificación permite apreciar con más detalle los intervalos más gruesos (bloque y grava) e integrarlos con los más finos (arena y limo). Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 1. Los tamaños hallados varían de bloques grandes a pequeños en el perfil centro, y de grava muy gruesa a arena media en los otros perfiles. Las bermas presentan características texturales semejantes variando de grava gruesa a media, bien seleccionadas y mesocúrticas. Los sedimentos del intermareal disminuyen su tamaño hacia el estuario, variando de grava

arenosa a arena levemente gravosa. La planicie submareal está formada por arena media.

En la figura 6 se clasifican los sedimentos de las muestras adquiridas empleando el diagrama de Folk et al. 1970. De dicha figura se observa que, en las playas antrópicas, la playa distal y bermas están formadas por gravas, la playa frontal por grava arenosa a arena gravosa y la playa sumergida (sector planicie submareal) por arena. Contrastando con los resultados obtenidos para las playas originarias del estuario, formadas exclusivamente por arena o arena limosa.

Redondez y esfericidad

La redondez y esfericidad de los sedimentos de playa varían con el tamaño de grano y el tipo de material (Cuadro 2). Por lo general la esfericidad disminuye cuanto mayor es el tamaño de grano. Los bloques (bloques grandes según Blo-

Cuadro 2. Redondez y esfericidad de las fracciones clásticas de las playas antrópicas.

Clasificación de Wentworth (1922)	Tamaño (cm)	Tipo de material	Esfericidad	Redondez	
Bloque	Más de 256 cm	Hormigón	0.3	0.3	
		Adoquín	0.9	0.1	
Guijarro	64-256	Hormigón	0.7	0.5 a 0.7	
		Ladrillo	0.3	0.7	
		Asfalto	0.7	0.7	
		Hormigón	0.5	0.7	
Guija	2-64	Materiales pétreos	Piedra partida	0.7	0.3
			Canto rodado	0.5	
		Ladrillo	0.5	0.7	
		Asfalto	0.7	0.7	
Arena	Menos de 2	Cuarzo en mayor proporción	0.5 a 0.7	0.7 a 0.9	

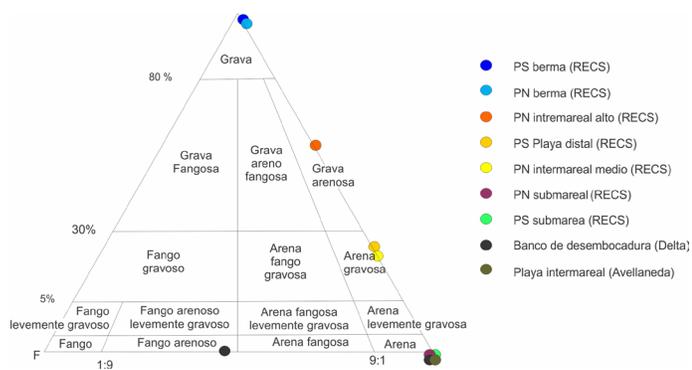


Figura 6. Sedimentos que componen las playas antrópicas y naturales según la clasificación de Folk (1970).

tt y Pye 2012), compuestos mayormente de hormigón son planares y subangulosos (Fig. 5, 6). En la fracción guijarro, (bloques pequeños y muy pequeños de Blott y Pye 2012), el adoquín es equidimensional (Fig. 5, 5), mientras que el hormigón, ladrillo y asfalto son por lo general planares. En cuanto a la angulosidad el adoquín es el más anguloso y el ladrillo es el que adquiere más redondeamiento, seguido del asfalto y el hormigón. En cuanto a la forma de los clastos, los formados por ladrillo son por lo general tabulares, los de asfalto y hormigón de prolados a equidimensionales (Fig. 7 a y b, 1 y 2).

En la fracción guiya (grava gruesa Blott y Pye 2012), se determinó que el hormigón, el ladrillo y el asfalto son redondeados a bien redondeados, dominando la forma prolada a planar en los clastos de ladrillo y de prolada a equidimensional en los de asfalto y hormigón. En esta fracción, los líticos están compuestos por dos poblaciones, una proveniente de la



Figura 7 (a y b). Clastos de la fracción Guijarro (Bloques pequeños): a) Clasto de asfalto muy bien redondeado e equidimensional; b) Clasto de hormigón subanguloso a subredondeado; c) Clasto de piedra partida subanguloso de forma planar. La degradación de los clastos de hormigón y asfalto da origen a la fracción grava (Guija) que compone la mayor parte de los subambientes de las playas antrópicas de la Reserva Ecológica Costanera Sur.

piedra partida de forma planar a prolada y angulosa (Fig. 7, 3) y otra del canto rodado que son por lo general redondeados a bien redondeados y prolados. Ambos agregados provienen de la degradación de los bloques de hormigón que, alcanzada esta fracción vuelven a tener las características de los agregados originales empleados en la elaboración del hormigón.

La fracción arena está compuesta casi totalmente por cuarzo equidimensional, de grano redondeado a subredondeado.

Dinámica y evolución

La evolución de las playas antrópicas analizadas depende de tres factores principales: a) Dinámica del sistema litoral, b) Tipo de material introducido, tanto en la costa como en la playa c) Edad (tiempo transcurrido desde la disposición final del escombros).

Los materiales que forman estos depósitos provienen de la erosión de los albardones artificiales costeros o de los materiales que han sido arrojados directamente a la playa. La dinámica del oleaje y las fluctuaciones del nivel del agua por las mareas y forzantes climáticas fueron modificando la textura de los sedimentos con el tiempo, disminuyendo el tamaño de grano e incrementando y la esfericidad.

Los efectos del oleaje de atricción, abrasión y el efecto martillo (*quarring*) son evidentes en periodos de tormenta (sudestadas), provocando el retrabajo de los materiales urbanos. Este efecto es más evidente en los materiales más friables, como el ladrillo, asfalto y el hormigón, como surge del análisis de redondez y esfericidad para cada fracción. La exposición al oleaje es más significativa durante las sudestadas, cuando el agua alcanza los 2.8 m (tormentas ordinarias) e inunda todos los subambientes de playa; mientras que en mareas normales la amplitud media es de 0.87 m cubriendo solo la playa frontal y sumergida. Esto refleja la diferenciación textural reconocida a lo largo del perfil transversal de playa.

Los clastos de tamaño bloque, por lo general son de hormigón, y pueden ser movilizados solo por las sudestadas extremas (mayores a 2.8 m). No obstante, se degradan muchas veces por efecto del golpeteo de otros clastos (efecto martillo), por insolación y por los sucesivos periodos de hidratación y deshidratación a los que están expuestos por efecto de la inundación mareal. La degradación de los bloques aporta arena y material pétreo (piedra partida y canto rodado) provenientes de los componentes del hormigón, lo cuales ingresan directamente al sistema litoral.

Comparación con los sedimentos originarios

En la figura 8 se muestran los sedimentos del submareal arenoso de los perfiles analizados en la Reserva Ecológica Costanera Sur y se los compara con la textura de las playas Avellaneda y con las barras de desembocadura del delta del Paraná. La muestra de Avellaneda caracteriza a los sedimentos que componen las barras longitudinales de las playas originales del estuario. En el frente deltaico la composición textural de los sedimentos varía dependiendo del subambiente (Marcomini et al. 2018). El albardón de las barras es arenoso, mientras que la planicie mareal superpuesta es fango arenoso. Sin embargo, en ambos casos el tamaño de grano

de la fracción arena es arena muy fina (moda 3.5 phi). Por el contrario, las playas de la Reserva Ecológica Costanera Sur están integradas por bloques o gravas con un incremento del contenido de arena hacia la playa sumergida, en coincidencia con los cambios de pendiente registrados en el perfil de playa. Sin embargo, el sector de playa submareal está formado exclusivamente por arena media. De la comparación de los histogramas de la figura 8, se distingue que los sedimentos de las playas originarias de Avellaneda, al igual que las barras de desembocadura del frente deltaico tienen más del 90 % de su población en la fracción inferior a 3 phi (arena muy fina). Por el contrario, la fracción arenosa de las playas de la Reserva Ecológica Costanera Sur tienen concentrada la mayor población entre 2.5 (arena fina) y 1.5 phi (arena media) y un muy bajo porcentaje de fracción inferior a 3 phi. Esto indicaría que la arena de tamaño mayor a 2.5 phi es aportada en mayor medida de la meteorización del hormigón, a partir de la liberación al medio del agregado fino que lo compone y en menor medida de la fragmentación de otros materiales de construcción (ladrillo, vidrio, etc.). Por ello, toda la arena media, provendría de una fuente alóctona al sistema, posiblemente relacionada con la extracción de áridos del sistema fluvial del Paraná - Uruguay. Esta arena fue transportada por chatas durante muchos años, para la construcción en la ciudad de Buenos Aires y ahora pasa a integrar la dinámica del estuario.

Esta nueva fuente de aporte al sistema litoral es un factor importante a tener en cuenta en las nuevas condiciones dinámicas del estuario, porque cambia las características texturales del lecho.

DISCUSIÓN

Los depósitos reconocidos en el frente costero de la Reserva Ecológica Costanera Sur se consideran playa porque los mismos fueron erosionados, depositados y transportados por la dinámica actual del estuario (olas, corrientes y mareas). Las evidencias que fundamentan este concepto son: a) diferenciación granulométrica y textural a lo largo del perfil transversal de la playa. Se distingue una playa distal compuesta por gravas, una playa frontal de grava arenosa y una playa sumergida arena media a fina. b) Diferenciación morfológica producto de la acción de oleaje y marea. Presencia de bermas de tormenta en la playa distal y barras longitudinales submareales. c) Redondeamiento e incremento de la esfericidad en los clastos que integran los depósitos, a diferencia de los materiales vertidos originales. d) Diferenciación las pendientes

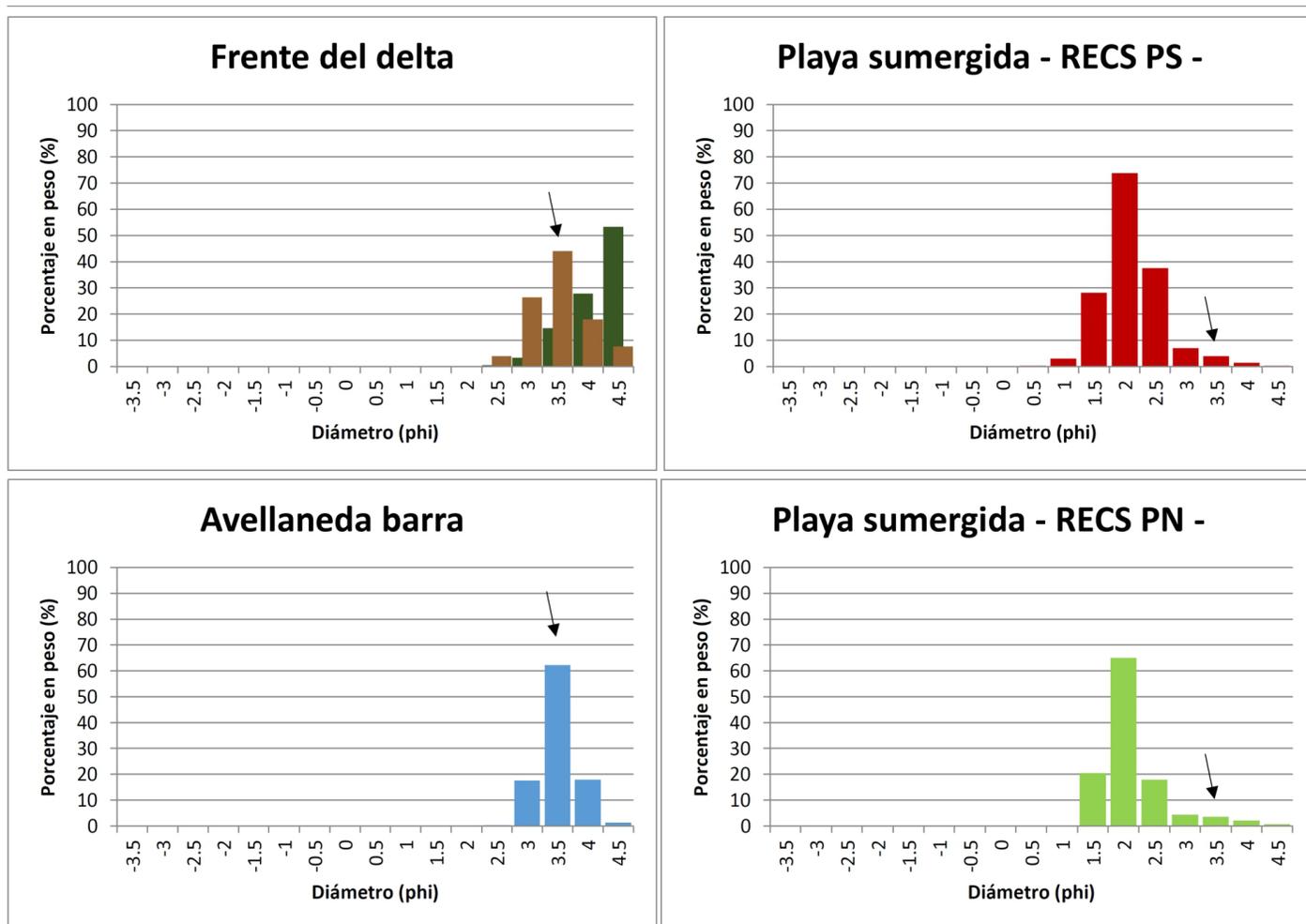


Figura 8. Histogramas que caracterizan la textura de las playas antrópicas (Ps y Pn), las barras de desembocadura del delta y las playas de Avellaneda. Nótese en las playas antrópicas, la falta de la fracción arena muy fina que constituía las playas originarias. Esto indica que la arena superior a 2.5 phi proviene de los agregados finos del hormigón.

de los subambientes de playa, playa distal con pendientes entre 4 y 6 grados, playa frontal con pendiente mayores a los 7 grados y playa sumergida con menos de 0.5 grados.

La meteorización física de los depósitos de playa acelera la degradación de los materiales de construcción favoreciendo la fragmentación por efecto martillo del oleaje (*quarrying*), abrasión e hidratación- insolación por inundación mareal. Si bien se espera que la vida útil del hormigón sea de más de 50 años, en este ambiente la degradación tiende a acelerarse.

Según Chandías (1979), la proporción del hormigón en la construcción de edificios varía dependiendo del uso. La proporción de cemento: arena: piedra empleada para pilotes es de 1:2:3 (cemento: arena: piedra partida o cantos rodados), para entrepisos de 1:3:3 y para zapatas y cimientos de 1:4:4. Por consiguiente cada fragmento de hormigón estaría compuesto entre un 45 a 50% de fragmentos pétreos que al degradarse se transformarán en grava y 30 a 45% en arena. De esta manera se estima que, por cada 100 m del frente costero, en una playa distal de 10 m (ancho promedio de pla-

ya distal relevada), podrían ingresar 38 m³ de arena y 47 m³ de materiales pétreos, a partir de la degradación de 0.1 m del espesor de los bloques. Esto equivale aproximadamente a 20 volquetes de sedimentos cada 100 metros de frente costero. Existe un porcentaje residual (entre un 5 y un 15%) que corresponde al cemento, que sería transportado en suspensión en el agua del estuario.

La dinámica litoral (olas, mareas, vientos y tormentas), en las playas antrópicas, actúa como un factor natural de reciclado de los agregados del hormigón. Los materiales pétreos y fragmentos de materiales de construcción (cemento, ladrillo, vidrio, etc.) de tamaño grava son transportados por las olas formando bermas de tormenta en la playa distal, mientras que la arena forma una planicie arenosa submareal de muy baja pendiente. Es decir que la dinámica del estuario produce una selección y segregación de los sedimentos antrópicos. Esta diferenciación textural a lo largo del perfil de playa produce un cambio de comportamiento de playas netamente disipativas (playas originarias) a reflectivas (playas antrópicas), sin ha-

berse modificado las condiciones hidrodinámicas del medio natural.

Finalmente se postula que estos nuevos depósitos podrían ser considerados como registros estratigráficos del Antropoceno (Crutzen y Stomer 2000), ya que la evolución morfológica de los depósitos en estos ambientes fue regulada principalmente por los procesos económicos, culturales y sociales asociados al desarrollo urbano (Marcomini y López 2011, 2014) y en menor medida a los procesos naturales. Otra condición para considerar que las playas antrópicas son depósitos antropogénicos (Edgeworth et al. 2015), es que están compuestas por sólidos sintéticos como aleaciones metálicas, vidrio, cemento, etc. (Hazen et al., 2017). Los aditivos complejos utilizados en el cemento aportan una huella química y petrográfica del hormigón moderno (Waters y Zalasiewicz 2018), y estos nuevos compuestos industriales, similares a minerales y rocas, a menudo son considerados por algunas corrientes científicas como uno de los posibles indicadores del antropoceno, (Waters et al. 2018). En esta categoría se incluyen sucesiones sedimentarias que se han acumulado por deposición humana directa o por influencia humana en los sistemas naturales (Ford et al., 2014).

Si bien existen estudios que comienzan a resaltar la importancia de papel que juega el hombre como proceso geomorfológico Fels, (1965), Demek, (1973), Goudie (1981, 1993, 2004, 2006), son escasas hasta el momento las investigaciones que documentan la dinámica litoral de playas antrópicas y sus depósitos sedimentarios. Por tal motivo es muy importante seguir avanzando en el conocimiento, en especial porque constituirá un gran dilema para las futuras megaciudades costeras.

CONCLUSIONES

La interacción entre los materiales urbanos y la dinámica litoral del estuario del Río de la Plata ha generado nuevas playas (playas antrópicas) para la costa de Buenos Aires. Los materiales industriales que las componen constituyen una nueva fuente de aporte de arena y grava al sistema litoral. En estos depósitos, la playa sumergida está compuesta casi exclusivamente por arena media proveniente de la construcción (degradación del hormigón), ya que tienen un tamaño de grano superior a las arenas originarias del estuario.

La dinámica litoral del estuario ha generado playas de mayor pendiente integradas por sedimentos gruesos cuyos tamaños de grano varían de bloques a arena media. Se observa una diferenciación sedimentaria entre los subambientes de las playas antrópicas. En los perfiles relevados se determinó

un incremento en el contenido de arena hacia los niveles más bajos.

Las playas antrópicas tienen tres segmentos bien diferenciados: a) playa distal formada por gravas con bermas de tormenta, b) playa frontal compuesta por grava arenosa o arena gravosa, c) playa sumergida integrada por una planicie arenosa de muy baja pendiente. Tienen perfiles hidrodinámicos de intermedios a reflectivos. Las bermas de tormenta en la playa distal y barras longitudinales en la playa sumergida indican dominio de la acción del oleaje en crecientes (sudestadas).

El mayor tamaño de grano reconocido en las arenas de las playas antrópicas proviene del agregado fino del hormigón que fue traído para la edificación de la ciudad desde Uruguay mayoritariamente. Debido al mayor tamaño de grano esta arena media no tiene gran dispersión a lo largo de la costa del estuario.

La degradación del hormigón también aporta al sistema una importante cantidad de grava, proveniente de la piedra partida y/o cantos rodados utilizados como agregado grueso del hormigón.

Las playas antrópicas tienen playa distal a diferencia de las originales, donde la misma es ocupada por el junco favoreciendo el desarrollo y la progradación de la planicie estuárica.

Los cambios morfológicos y texturales en las playas antrópicas producen consecuencias ecológicas y condicionamiento a la adaptación de ciertos organismos y ecosistemas continentales y acuáticos.

Las playas antrópicas constituyen elementos distintivos de la actividad humana, tanto morfológicos como sedimentarios, que podrían incorporarse como indicadores del Antropoceno.

Si bien hoy en día estas nuevas playas carecen de valor cultural y económico, para los pobladores de las megaciudades, es importante ahondar en el conocimiento e incentivar la valoración ambiental y la conservación de estos nuevos ecosistemas estuariales. Aún más por pertenecer al ámbito de una reserva ecológica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores deseamos expresar nuestro agradecimiento a las autoridades de la Reserva Ecológica Costanera Sur por permitirnos el acceso y facilitarnos la logística necesaria para llevar a cabo las mediciones y muestreos de playa. A la Licenciada Lorena Zapana por su colaboración y asistencia en las tareas de campaña y al Dr. Horacio Sirolli por su gran compromiso y apoyo a nuestras investigaciones en la temática. El trabajo fue financiado con fondos de la Universidad de

Buenos Aires subsidio UBACyT 20020170100389BA y por el PUE 22920160100030CO del CONICET.

El editor desea agradecer la tarea de revisión de Jorge Guillén y Manu Monge Ganuzas.

REFERENCIAS

- ASTM D2487-1966. Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). Reapproved 2006. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Blott, S.J. y Pye, K. 2001. Gradistat: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms* 26: 1237-1248.
- Blott, S.J. y Pye, K. 2012. Particle size scales and classification of sediment types based on particle size distributions: review and recommended procedures. *Sedimentology* 59: 2071-2096.
- Chandías, M.E. 1979. *Cóputos y presupuestos: Manual para la Construcción de Edificios*. Alsina, 350 p., Buenos Aires.
- Crutzen P.J. y Stoemer E.F. 2000. The "Anthropocene". *Global Change Newsletter* 41: 12-13.
- Demek, J. 1973. Quaternary relief development and man. *Geoforum* 15: 68-71.
- Depetris, P.J., Kempe, S., Latif, M. y Mook, W.G. 1996. ENSO controlled flooding in the Parana River (1904–1991). *Naturwissenschaften* 83: 127-129.
- Domhelm, R.B. 1995. The Coney Island public beach and boardwalk improvement of 1923. *Sores and Beach* 63(1): 7-11.
- Edgeworth, M., Richter, D.B., Waters, C.N., Haff, P., Neal, C. y Price, S.J. 2015. Diachronous beginnings of the Anthropocene: the lower bounding surface of anthropogenic deposits. *The Anthropocene Review* 2 (1): 1-26
- Ellis, M.Y. 1978. *Coastal Mapping Handbook*. Department of the Interior, U.S. Geological Survey and U.S. Department of Commerce, National Ocean Service and Office of Coastal Zone Management, U.S. GPO, 199 p., Washington, D.C.
- Faggi, A.M., y Cagnoni, M. 1987. Flora del Parque Natural Costanera Sur. *Parodiana* 6(1):49-66.
- Fels, E. 1965. Nochmals: anthropogene geomorphologie. *Petermanns Geographische Mitteilungen* 109: 9-15.
- Flink, C.W., y Walker, H.J. 2002. Beach Nourishment. En: Chen, J., Eisma, D., Hotta, K., y Walker, H.J. (eds), *Engineered Coasts*. Kluwer Academic Publishers, 1-22, Dordrecht.
- Folk, R.L. 1980. *Petrology of Sedimentary rocks*. Hemphill Publishing Co. 182 p., Austin.
- Folk, R.L. y Ward, W.C. 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27: 3-26.
- Folk, R.L., Peter, B.A. y Lewis, D.W. 1970. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics* 13: 937-978.
- Ford, J.R., Price, S.J., Cooper, A.H. y Waters, C.N. 2014. An assessment of lithostratigraphy for anthropogenic deposits. En: Waters, C.N., Zalasiewicz, J., Williams, M., Ellis, M.A. y Snelling, A. (eds.), *A Stratigraphical Basis for the Anthropocene*. *Journal of the Geological Society* 395: 55-89.
- Goudie, A.S. 1981. *The human impact. Man's role in environmental change*. Blackwell, 326 p., Oxford.
- Goudie, A.S. 1993. *Environmental change*. Clarendon Press, 329 p., Oxford.
- Goudie, A.S. 2004. Anthropogeomorphology. En: Goudie, A.S. (ed.), *Encyclopedia of Geomorphology*, 25-27, London.
- Goudie A.S. 2006. *The human impact on the natural environment*. Blackwell Pub., 357 p., Oxford.
- Hazen, R.M., Grew, E.S., Origlieri, M.J. y Downs, R.T. 2017. On the mineralogy of the "Anthropocene Epoch". *American Mineralogy* 102: 596-611.
- Hogentogler, C.A. y Terzaghi, K. 1929. Interrelationship of load, road and subgrade. *Public Roads* 10: 37-64.
- Holocwan, P.T. 1996. Evolución y acreción antrópica en el sector costanero de la ciudad de Buenos Aires. *Actas de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería* 10: 144-168.
- Krumbein, W. y Sloss, L. 1963. *Stratigraphy and Sedimentation*. W.H. Freeman and Co., 660 p., San Francisco.
- Marcomini, S.C. y López, R.Á. 2004. Generación de nuevos ecosistemas litorales por albardones de relleno en la costa de la ciudad de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 59(2): 261-272.
- Marcomini, S.C. y López, R.A. 2006. La línea de costa del Río de la Plata. En: Isla I. y Lasta C. (eds.): *Manual de manejo costero para la provincia de Buenos Aires*. EUDEM, 85-112, Mar del Plata.
- Marcomini, S.C. y López, R.A. 2011. Historia de la costa de Buenos Aires. *Ciencia Hoy* 21: 41-48.
- Marcomini, S.C. y López, R. A. 2014. Geoformas costeras antrópicas, Ciudad de Buenos Aires. En: Goso, C. (ed.), *Nuevas miradas a la Problemática de los Ambientes Costeros II*. Editorial de la Universidad de la República, 339-354, Montevideo.
- Marcomini, S.C., Tripaldi, A., Leal, P., López, R. A., Alonso, M. S., Ciccioli, P., Quesada, A. y Bunicontro, P. 2018. Morfodinámica y sedimentación de un sector del frente deltaico del Paraná (1933-2016), Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 75 (1): 1-16
- Mechoso, C. R. y Pérez-Iribarren, G. 1992. Streamflow in southeastern South America and the Southern Oscillation, *Journal of Climate* 5: 1535-1539.
- Nordstrom, K.F. 2004. Beach Nourishment. En: Goudie, A.S. (ed.), *Encyclopedia of Geomorphology* 1: 71-72, London.
- Pagán, J.I., Aragonés, L., Tenza-Abril, A.J. y Pallarés, P. 2016. The influence of anthropic actions on the evolution of an urban beach: Case study of Marineta Cassiana beach, Spain. *Science of The Total Environment* 559: 242-255.
- Pereyra, F., Marcomini, S., López, R., Merino, M. y Nabel, P. 2001. Carac-

- terización del medio físico de la Ciudad de Buenos Aires y área Metropolitana. Convenio FCEyN-Universidad de Buenos Aires y Secretaría de Planeamiento Urbano, GCBA (Inédito), 214 p., Buenos Aires.
- Piola, A.R., Campos, E.J.D., Moller Jr., O.O., Charo, M. y Martinez, C.M. 2000. Subtropical shelf front of eastern South America, *Journal of Geophysical Research* 105: 6566-6578.
- Short, A.D. 1999. *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. John Wiley and Sons, 379 p., Oxford.
- Sitja y Balastro J.M., 2011. Geomorfología actual y evolutiva de la cuenca baja del Riachuelo y su zona costera. Tesis de Licenciatura, Universidad de Buenos Aires (Inédita), 120 p., Buenos Aires.
- Yrigoyen, M. 1993. Morfología y Geología de la ciudad de Buenos Aires. *Actas Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería* 7: 7-38.
- Waters, C.N. y Zalasiewicz, J. 2018. Concrete: the most abundant novel rock type of the Anthropocene. En: Della Sala, D.A. y Goldstein, M.I. (Eds.), *The Encyclopedia of the Anthropocene*. Elsevier, 75-85, Oxford.
- Waters, C. N. J. Zalasiewicz, J., Summerhayes, C., Fairchild, I.J., Rose, N.L., Loader, N.J., Shotyk, W., Cearreta, A., Head, M.J., Syvitski, J.P.M., Williams, M., Waple, M., Barnosky, A.D., Zhisheng, A., Leinfelder, R., Jeandel, C., Gałuszka, A., Ivar do Sul, J.A., Gradstein, Steffen, W., McNeill, J.R., Wing, S., Poirier, C. y Edgeworth, M. 2018. Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) for the Anthropocene Series: Where and how to look for potential candidates. *Earth Science Reviews* 178: 379-429.
- Servicio de Hidrografía Naval, 2020: http://www.hidro.gov.ar/oceanografia/tmareas/form_tmareas.asp
- Wentworth, C. K. 1922. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *The Journal of Geology* 30 (5): 377-392.