

# Paleoambientes y colmatación de la albufera antropogénica rioplatense Reserva Ecológica Ciudad Universitaria — Costanera Norte (Buenos Aires, Argentina)

## *Paleoenvironments and clogging of the River Plate anthropogenic lagoon Ecological Reserve Ciudad Universitaria - Costanera Norte (Buenos Aires, Argentina)*

Agustín Quesada<sup>1,2,\*</sup>, Horacio Sirolli<sup>3,4,5</sup>, Rodrigo S. Martín<sup>1,6</sup>, Victoria Keitelman<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEN), Universidad de Buenos Aires. Intendente Güiraldes 2160,1428, Buenos Aires, Argentina.

<sup>2</sup>Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

<sup>3</sup>Departamento de Ecología, Genética y Evolución, FCEN, Universidad de Buenos Aires.

<sup>4</sup>Instituto de Ecología, Genética y Evolución de Buenos Aires, UBA-CONICET.

<sup>5</sup>Sector Conservación y Monitoreo, Reserva Ecológica Costanera Sur, Secretaría de Ambiente, Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

<sup>6</sup>Instituto de Estudios Andinos Don Pablo Groeber, UBA-CONICET.

\* Autor de correspondencia: (A. Quesada) [agustinquesada.geo@gmail.com](mailto:agustinquesada.geo@gmail.com)

### Cómo citar este artículo:

Quesada, A., Sirolli, H., Martín, R.S., Keitelman, V., 2022, Paleoambientes y colmatación de la albufera antropogénica rioplatense Reserva Ecológica Ciudad Universitaria—Costanera Norte (Buenos Aires, Argentina): Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 74 (2), A240622. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2022v74n2a240622>

Manuscrito recibido: 17 de Marzo de 2022  
Manuscrito corregido: 25 de Mayo de 2022  
Manuscrito aceptado: 31 de Mayo de 2022

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia CCBY-NC-SA (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

## RESUMEN

La sedimentación de la planicie estuárica rioplatense modifica el paisaje de las reservas naturales costeras de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Estas reservas se generaron a partir de la construcción artificial de terraplenes que polderizaron sectores de la costa y dieron lugar a ecosistemas de humedales. Esta contribución tiene como objetivo estudiar los paleoambientes y las tasas de acreción vertical de la Reserva Ecológica Ciudad Universitaria - Costanera Norte, una pequeña albufera antropogénica construida en la década de 1970. Para ello, se extrajeron dos núcleos sedimentarios de entre 60 y 80 cm de largo: uno en la boca de la albufera y el otro en su interior. En submuestras sedimentarias se analizó el tamaño de grano, la humedad, la materia orgánica y el contenido micropaleobiológico y de artefactos. El registro obtenido se separó en dos unidades: en la base, una unidad de arenas masivas interpretadas como la planicie estuárica activa existente antes de la polderización del área y, en la parte superior, una unidad fangosa con presencia de artefactos plásticos y líticos de entre 30 y 60 cm de espesor acumulada después de la polderización. Como resultado se obtuvo una tasa de sedimentación de 1.2 cm de acreción vertical por año en la boca de la albufera, mientras que en el interior la acumulación fue de 0.7 cm de acreción vertical por año. El análisis micropaleobiológico realizado permitió interpretar que esta sedimentación fue gradual y con una tendencia a la eutrofización de la albufera. El manejo de estos ecosistemas de humedales litorales protegidos deberá contemplar la ocurrencia de una rápida colmatación de la albufera y el reemplazo de ambientes de marismas bajas, frecuentemente inundadas, a marismas altas, raramente inundadas y dominadas por plantas de humedal enraizadas.

**Palabras clave:** polder, estuario, tasas de sedimentación, colmatación.

## ABSTRACT

*Sedimentation in the estuarine plain of the River Plate modifies the landscape of the nature reserves of the Ciudad Autónoma de Buenos Aires. These reserves were generated by the artificial construction of embankments that polderized sectors of the coast and gave rise to wetland ecosystems. This contribution aims to study the paleoenvironments and vertical accretion rates of the Reserva Ecológica Ciudad Universitaria - Costanera Norte, a small anthropogenic lagoon built in the 1970s. For this purpose, two cores were extracted: one at the mouth of the lagoon and the other in its interior. Granulometry, moisture, organic matter, micropaleobiological and artifact contents were analyzed in each core. The obtained record was divided into two stratigraphic units. At the base, a massive sand unit that belongs to the estuarine plain that precedes the artificial polderization, and, in the upper part, a muddy unit with the presence of plastic and lithic artifacts, accumulated after polderization. The sedimentation rate obtained at the mouth of the lagoon was 1.2 cm of vertical accretion per year, while in the interior the accumulation was 0.7 cm per year. The micropaleobiological analysis allowed us to interpret that the sedimentation in the interior of the lagoon was gradual and with a trend towards eutrophication of the water column. Management of these protected coastal wetland ecosystems must consider the rapid sedimentation of the lagoon and the replacement of frequently flooded low marsh environments with rarely flooded high marshes dominated by rooted wetland plants.*

**Keywords:** polder, estuary, aggradation rates, siltation.

## 1. Introducción

Desde el siglo XVI, la morfología de la costa de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) ha sido alterada con sucesivos rellenos que se han realizado sobre el Río de la Plata (RdP) (Athor, 2012; Brailovsky, 2018; Marcomini y López, 2011). Esta progradación artificial ha condicionado la acumulación de sedimentos en

nuevos ecosistemas litorales (Gómez Samus *et al.*, 2020; Marcomini y Lopez, 2021; Marcomini y López, 2004) expuestos a la compleja hidrodinámica del RdP, un estuario de agua dulce con alta concentración de limos en suspensión (Parker, 1990; Sarubbi, 2007). En algunos de estos nuevos ambientes costeros de relleno han surgido ecosistemas de humedales que han sido preservados como reservas naturales.

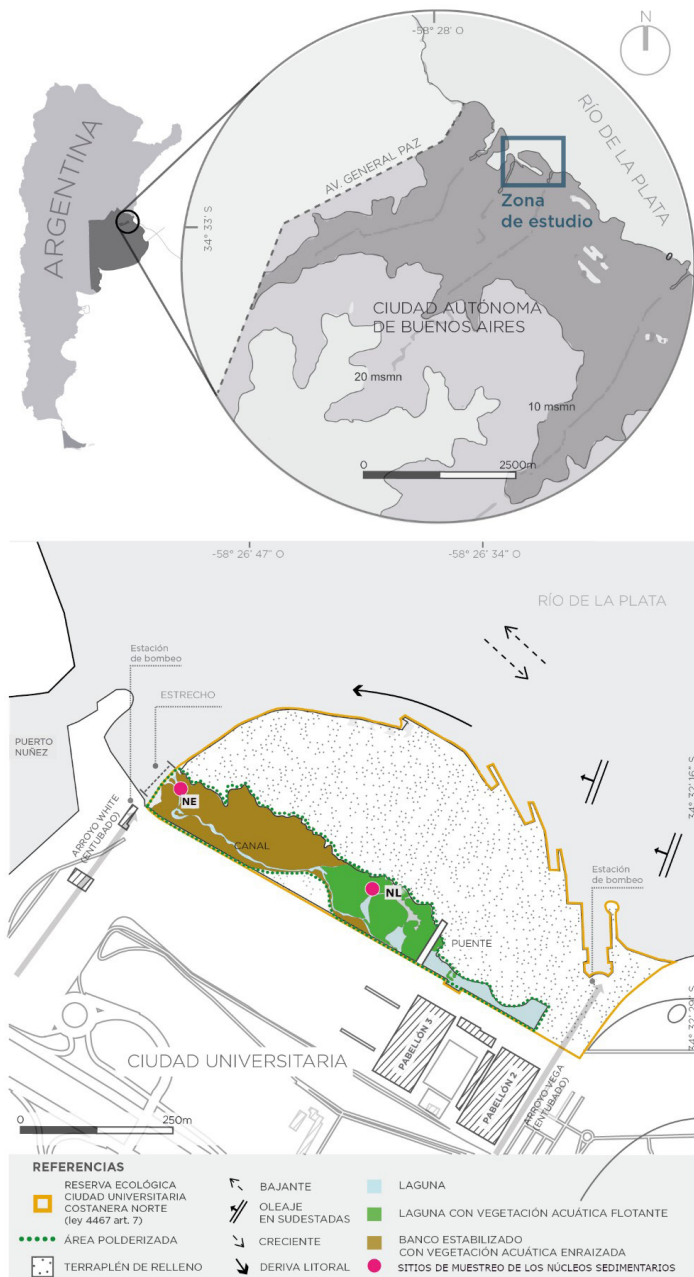


Figura 1 Ubicación de la zona de estudio.

En el sector norte de la costa de la CABA, frente a la Ciudad Universitaria, se construyó en la década de 1970 un terraplén con forma de espiga a modo de pólder semicerrado. El terraplén protege del oleaje de tormentas a una superficie polderizada de 30 ha. En este pólder se formó un ambiente albuférico conectado al RdP en el que se desarrollaron las marismas de agua dulce que se estudian en esta contribución (Figura 1). Pese a la importancia que tiene la activa sedimentación de la planicie estuárica en las modificaciones de los paisajes de las reservas urbanas de la CABA, hasta el momento no se habían estimado tasas de sedimentación. En este contexto, los objetivos principales del presente aporte son: 1) caracterizar los procesos morfosedimentarios de la albufera antropogénica Reserva Ecológica Ciudad Universitaria - Costanera Norte, 2) interpretar la evolución paleoambiental de la zona, y 3) calcular tasas de sedimentación en este sector de la costa rioplatense.

## 2. Descripción del área de trabajo

### 2.1. MARCO REGIONAL E HIDROLOGÍA DEL ESTUARIO RIOPLATENSE

El área metropolitana de la CABA, ubicada en la margen sur del estuario del RdP ( $34^{\circ} 35' S$  y  $58^{\circ} 22' 0$ ), es una zona subhúmeda (1000 mm de precipitación media anual) de régimen mesotermal ( $17^{\circ}C$  de temperatura media anual). Fue construida sobre dos unidades geomórficas regionales principales: la llanura pampeana y la planicie estuárica del RdP (Nabel y Becerra Serial, 2008). El RdP es un estuario de dirección NO - SE con sus cabeceras en el delta del río Paraná y su desembocadura en el océano Atlántico (Cavallotto 2004; Cavallotto y Violante, 2005). El frente deltaico del río Paraná es sumamente constructivo y progradado a tasas de entre 30 y 120 m por año (Sarubbi, 2007; Medina y Codignotto, 2013; Marcomini *et al.*, 2018; Quesada, 2019). En la línea de costa del delta del río Paraná se midieron tasas de acreción

vertical variables, sobre núcleos sedimentarios y mediante datación con radioisótopos, de entre 0,43 y 2,62 cm por año con un promedio de entre 1,5 y 1,7 cm por año (Schuerch *et al.*, 2016; Gallo *et al.*, 2021).

Del río Paraná, afluente principal del RdP, proviene una importante carga sedimentaria en suspensión, predominantemente limosa (Parker, 1990; Sarubbi, 2007) que se deposita en la zona de estudio. El río Paraná tiene eventos de descargas excepcionales de agua y sedimentos que están vinculadas al fenómeno de variabilidad climática ENSO (Depetris y Gaiero, 1998).

Estas crecidas excepcionales son acompañadas de eventos conocidos como “camalotales”, grandes cantidades de plantas acuáticas flotantes, entre las que predomina *Eichhornia crassipes*, que son arrastrados desde la cuenca media y alta hasta el estuario (Poi, 2016). Sin embargo, las variaciones en las descargas del río Paraná no hacen variar el nivel de agua del estuario del RdP que tiene un régimen micromareal semidiurno con un nivel medio de 0,92 m sobre el plano de reducción local y una amplitud promedio de 1,15 m (D’Onofrio *et al.*, 2008).

Por el contrario, el nivel del agua del RdP sí es sensible a la acción de los vientos. En particular, las tormentas pueden provocar descensos o ascensos de hasta 4 m del nivel medio del agua según provengan, respectivamente, del cuadrante norte o sur (Balay, 1961). Las tormentas del sur, conocidas localmente como sudestadas, duran varios días y provocan una marejada (*surge storm*) que retrabaja los rellenos costeros del área metropolitana de Buenos Aires (Marcomini y López, 2021). Estas sudestadas producen una deriva litoral de sedimentos arenosos en toda la margen sur del RdP hacia el norte (Cavallotto y Violante, 2005), es decir, en dirección opuesta a la descarga del río Paraná y su frente deltaico en la cabecera del estuario. Por último, cabe mencionar que el nivel hidrométrico medio anual del RdP se eleva de forma lenta con valores de entre 1,6 y 1,7 mm por año (Lanfredi *et al.*, 1998; Cavallotto *et al.*, 2004; D’Onofrio *et al.*, 2008).

Tabla 1. Resultados del análisis granulométrico de las submuestras tomadas en ambos núcleos sedimentarios. (\* muestras analizadas por método hidrométrico).

Núcleo	Intervalo muestra (cm)	% en peso			Mediana (D50 $\phi$ )
		Fango	Arena	Grava	
NL	1 a 6*	84,2	15,8	0	9
	8 a 12*	65	35	0	5,5
	14 a 17*	81,3	18,7	0	6
	23 a 26*	56,7	43,3	0	4,7
	39 a 42	4	96	0	3,7
	49 a 52	0,6	99,4	0	3,7
	59 a 62	0,7	99,3	0	3,7
NE	1 a 4	9,3	90,7	0	3,7
	8 a 11	7	93	0	3,5
	19 a 22	10	90	0	3,6
	25 a 28	20	80	0	3,5
	39 a 42	9,6	90,4	0	1,8
	49 a 52	39,9	60,1	0	3,25
	53 a 55	23,1	76,9	0	3,6
	57 a 60	2	93,9	4,1	1,7
	61 a 54*	89,3	10,7	0	5,5
	59 a 72	2,4	97,6	0	3,7

## 2.2. LA RESERVA ECOLÓGICA CIUDAD UNIVERSITARIA - COSTANERA NORTE

La construcción de pólderes ha sido una forma común de realizar rellenos en la costa de la CABA. El pólder de la zona de estudio fue construido frente a los anteriores rellenos costeros de la Ciudad Universitaria con un terraplén de más de 4 m de altura y 1000 m de longitud en forma de espiga orientada al norte (Marcomini y López, 2004). Entre los suelos de relleno de la Ciudad Universitaria (Prezzi *et al.*, 2011) y el terraplén con forma de espiga quedó protegido un cuerpo de agua que se clasifica en este trabajo como una albufera antropogénica. En el extremo norte de este sistema las aguas se conectan con el RdP por un “estrecho” que actúa como la boca de la albufera (Figura 1). El ingreso y egreso de aguas del RdP por este estrecho ha determinado el arribo de diversos organismos a la albufera. La formación de bancos en la planicie estuárica estabilizados con vegetación de marismas de agua dulce (Marcomini y López, 2004)

condicionaron que el sitio adquiriera, en su entorno urbano, un importante valor de conservación de la biodiversidad. Tanto la albufera como la espiga de relleno se encuentran actualmente declaradas como área natural protegida bajo el nombre de Reserva Ecológica Ciudad Universitaria - Costanera Norte (RECU-CN). En la misma se ha registrado una biota de más de 800 especies y la vegetación se divide en tres unidades: humedal, bosque y pastizal con arboledas (Sirolli *et al.*, 2018; Melzi Fiorenza *et al.*, 2020)

El tipo de vegetación del humedal, arraigada o flotante, se relaciona con dos subambientes que se encuentra bien diferenciados en la actualidad (Figura 1). Por un lado, una laguna interior que tiene dos zonas, una con agua libre y otra con vegetación flotante. Las aguas de esta laguna se clasifican como hipereutróficas y en algunas ocasiones se han observado explosiones poblacionales del alga verde filamentosa *Spirogyra* sp (Sirolli *et al.*, 2018). Por otro lado, la planicie estuárica vegetada con plantas enraizadas.

Esta planicie se encuentra surcada por un canal que conecta ambos extremos de este subambiente: al sudeste la laguna, y al noroeste el sector del estrecho en donde se encuentran la planicie estuárica del RdP (Melzi Fiorenza *et al.*, 2020).

### 3. Materiales y métodos

La recuperación de núcleos sedimentarios someros constituye una metodología ya utilizada en estudios de ambientes costeros intervenidos artificialmente (ej. Ruiz-Fernández *et al.*, 2007; Bellucci *et al.*, 2009). Para la presente investigación, se adquirieron dos núcleos sedimentarios en la albufera antropogénica de la RECU – CN con el propósito de atravesar los depósitos albuféricos hasta llegar a depósitos del RdP, prealbuféricos. Para ello se utilizaron tubos de PVC de 63 mm de diámetro interior empujados mediante golpe de martillo de 1 kg. La campaña de muestreo se realizó en septiembre de 2018, durante un día de pronunciada bajante (60 cm por debajo del nivel de marea media).

El primer núcleo fue tomado en el sector del estrecho, a pocos metros de la desembocadura del canal que comunica el estuario con la laguna albuférica (Figura 2a). La zona de muestreo representa la transición entre la planicie estuárica activa del RdP y la planicie de la albufera estabilizada con plantas herbáceas enraizadas (*Schoenoplectus californicus* y *Echinodorus grandiflorus*). Éste se denominó núcleo del estrecho (NE), el punto de muestreo se ubicó específicamente en las coordenadas 34° 32' 20,3" S; 58° 26' 52,7" O y se logró recuperar una columna de sedimentos de 78 cm desde la superficie. El segundo núcleo fue tomado en el interior de la albufera. Este subambiente pantanoso (Figura 2b) se encuentra dominado por vegetación flotante (*Louisiella elephantipes*). Se denominó núcleo de la laguna (NL) y se obtuvo en el punto de coordenadas 34° 32' 20,3" S; 58° 26' 39,6" O. Al momento del muestreo había una columna de agua de 40 cm sobre el nivel del lecho por lo que la extracción se realizó de forma subácuea. En

este núcleo sedimentario se logró recuperar una columna de sedimentos de 68 cm. Al abrir los núcleos sedimentarios se advirtió una nula o despreciable compactación de los sedimentos. Luego de una descripción sedimentológica estándar inicial, determinando tamaño de grano, estructuras sedimentarias y color (Munsell, 2000), se tomaron 10 submuestras de aproximadamente 100 g de sedimentos al NE y 8 submuestras al NL. A estas submuestras se les practicaron análisis granulométricos y se le analizaron valores de humedad y de contenido de materia orgánica. El análisis del tamaño de grano de los sedimentos se realizó mediante rutinas de tamizado (Day, 1965) en los casos con predominio de fracciones arenosas, e hidrometría (Bouyoucos, 1962; Gee y Bauder, 1986) en los casos de las muestras predominantemente fangosas. Luego, se calcularon los porcentajes en peso obtenidos de cada fracción (fango, arenas, gravas) y la mediana granulométrica ( $D_{50\Phi}$ ) según estadística de Folk y Ward (1957). El análisis de contenido de humedad y de materia orgánica se llevó a cabo en estufas siguiendo los protocolos de pérdida por ignición  $LOI_{550}$  (Heiri *et al.*, 2001).

Adicionalmente, se analizaron artefactos y microfósiles obtenidos de la parte superior de ambos núcleos sedimentarios. Por una parte, se le extrajeron al NE artefactos líticos y artefactos plásticos para su observación detallada bajo la lupa. Por otra parte, al NL se le realizaron estudios micropaleobiológicos de artrópodos para obtener un registro cualitativo de cambios en las poblaciones de especies asociadas a la colmatación del área polderizada. Para esto último, se tomaron tres submuestras: una en el techo del NL, entre 0-2 cm, y otras dos a profundidades entre 18-20 cm y entre 26-28 cm.

Luego, para elaborar la interpretación ambiental del registro sedimentario obtenido en los núcleos se seleccionó una secuencia de imágenes aéreas históricas disponibles en repositorios públicos. Esta secuencia de imágenes seleccionadas permitió comprender la evolución geomorfológica de la zona de estudio y estimar las fechas aproximadas en las que se produjeron los cambios ambientales

observados en los núcleos sedimentarios. Por último, a partir de este fechado, se calcularon tasas de acreción vertical para la albufera antropogénica de la RECU-CN.

## 4. Resultados

### 4.1. SEDIMENTOLOGÍA DEL NÚCLEO NE

En la Figura 3 se presenta una fotografía del NE proveniente de la boca de la albufera y los valores de humedad, materia orgánica y mediana granulométrica obtenidos en submuestras. A continuación, se describe de base a techo, cada uno de los intervalos sedimentarios diferenciados por sus características granulométricas.

*Intervalo NE 1 - 78 a 65 cm.* Arena muy fina (3,7  $\Phi$ ) muy bien seleccionada (0,47  $\Phi$ ), color castaño rojizo de tono medio (7.5 YR 3/3) con relativo bajo contenido de materia orgánica (< 8%). La estructura de este estrato arenoso es masiva.

*Intervalo NE 2 - 65 a 63 cm.* Intervalo fangoso (5,5  $\Phi$ ) gris verdoso (Gley 1 6/10 GY) de 2 cm de espesor, con una fina lámina de arena intercalada. El contacto con la unidad infrayacente es neto. Dentro de este intervalo se detectó un artefacto plástico (Figura 4A).

*Intervalo NE 3 - 63 a 58 cm.* Arena mediana gravosa (1,7  $\Phi$ ) de color amarillo (10YR 6/6) pobremente seleccionada (1,1  $\Phi$ ). La arena es predominantemente cuarzosa y sus clastos tienen formas subredondeadas. Se observa la presencia de abundantes artefactos líticos. Entre estos artefactos se destacan algunos clastos subangulosos compuestos por escombros de concreto tamaño grava (Figura 4B) y varios clastos redondeados de color castaño de hasta 2 mm de diámetro, provenientes de la fragmentación y retrabajo de ladrillos de arcilla. Se destaca la presencia de un guijarro de 3 cm de forma alargada y bordes redondeados, del tipo que se utilizan como árido de construcción de hormigones, que apoya sobre el intervalo fangoso infrayacente.

*Intervalo NE 4 - 58 a 0 cm.* Arena fina a mediana mal seleccionada (entre 3,2 y 3,7  $\Phi$ ) castaño claro (10YR 6/8) con un contenido medio de materia orgánica que, en general, ronda valores de entre 10 y 15 %. En menor medida hay limos y algunas conchillas de pequeños bivalvos y una apreciable cantidad, a simple vista, de artefactos líticos (Figura 4C) tamaño arena redondeada (fragmentos de ladrillo o teja), artefactos plásticos de variados tamaños y orígenes (bolsas de polietileno y envases) y restos de artefactos líticos vítreos (fragmentos de vidrio antropogénico). Intercalados en este

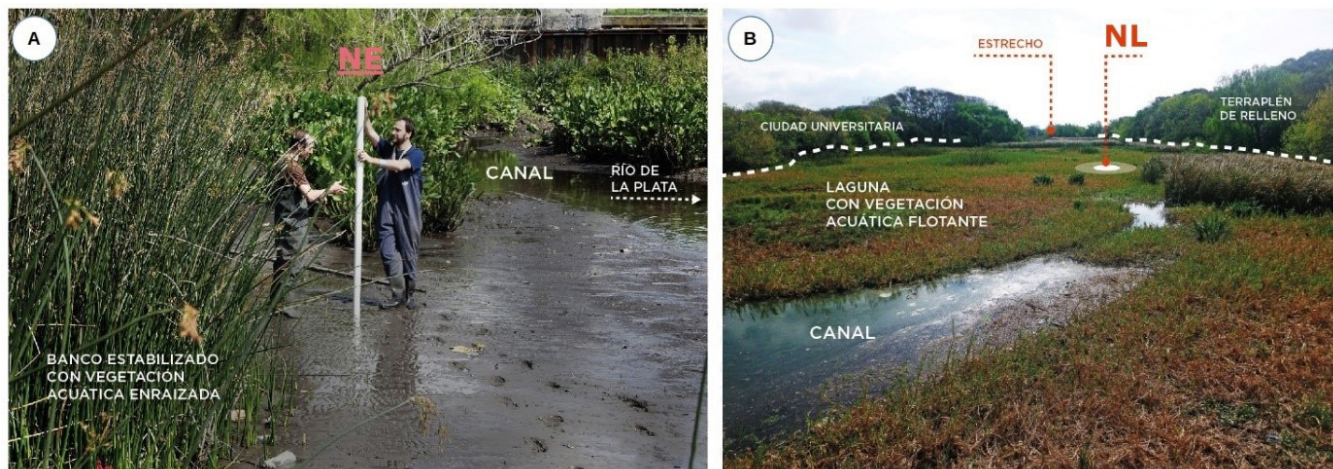
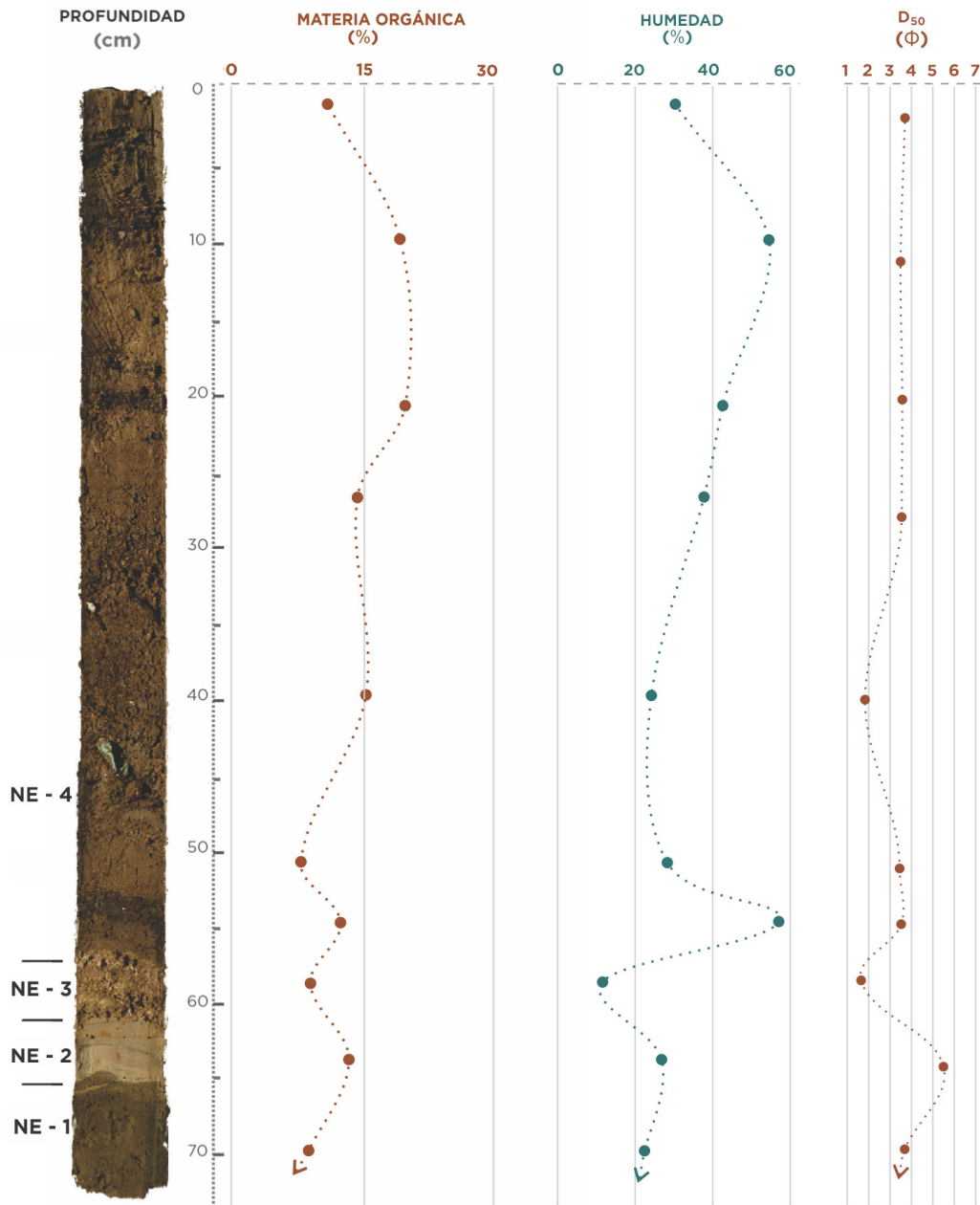


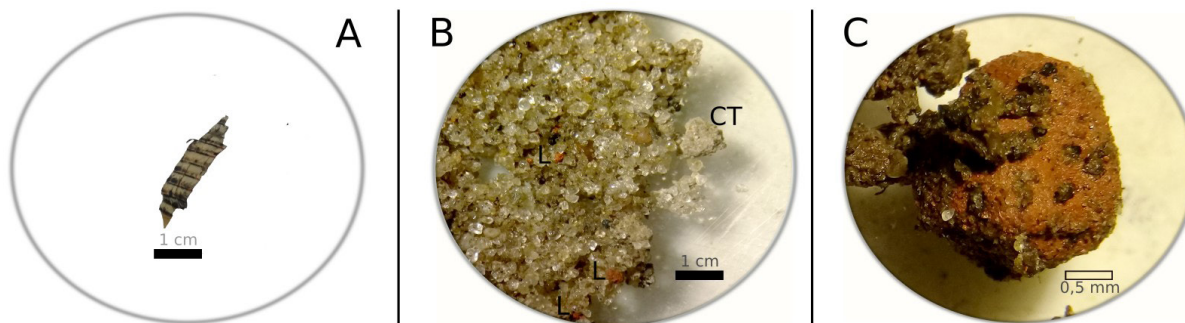
Figura 2 Fotografías de los sitios de muestreo. A) Adquisición del núcleo NE en el sector del estrecho en condiciones de bajante. B) Imagen desde el puente de la RECU - CN hacia el norte en donde se indica sitio de adquisición del núcleo NL.

estrato, predominantemente arenoso, se encuentran tres horizontes orgánicos de color gris oscuro y de 1 cm de espesor cada uno, ubicados a los 10, 22 y 54 cm de profundidad. Estas intercalaciones presentan restos de

plantas y abundante materia orgánica con valores de alrededor del 20%, superando los valores de materia orgánica hallados en otras muestras de este mismo intervalo sedimentario.



**Figura 3** Fotografía del núcleo sedimentario obtenido en la boca de la albufera (NE) y sus curvas de contenido porcentual de humedad, de materia orgánica (LOI<sub>550</sub>) y el valor de la mediana granulométrica (D<sub>50</sub>). Se encolumnan a la izquierda los intervalos sedimentarios definidos. Nótese artefactos plásticos entre los 35 y 45 cm blanco y verde respectivamente y a los 60 un guijarro dentro de un intervalo sedimentario areno gravoso grisáceo.



**Figura 4** Artefactos del NE a la lupa. A) artefacto de textura corrugada (envase plástico) extraído del intervalo NE - 2. B) Arena cuarzosa con artefactos líticos en el intervalo NE - 3. Se marcan un fragmento de concreto (CT) y varios fragmentos de ladrillo (L). C) Vista de mayor detalle un fragmento lítico de ladrillo proveniente intervalo sedimentario NE-4 (35 cm de profundidad).

#### 4.2. SEDIMENTOLOGÍA DEL NÚCLEO NL

El NL, obtenido en el interior de la albufera, resultó de una litología granodecreciente compuesta por dos intervalos sedimentarios bien diferenciados (Figura 5). A continuación, se describen los intervalos de base a techo del núcleo presentando también los resultados micropaleobiológicos hallados en la parte superior del núcleo.

*Intervalo NL 1 - 70 a 35 cm.* Arena muy fina ( $D_{50} = 3,7 \Phi$ ) bien seleccionada ( $0,45 \Phi$ ), color castaño de tono medio (7,5 YR 3/3). El depósito es compacto con muy bajo contenido de materia orgánica (menor a 5%) y de limos (< 4%). Es notable la similitud granulométrica, de color de los sedimentos y de contenido de materia orgánica de este intervalo con el intervalo NE - 1 obtenido en la base del núcleo descrito anteriormente.

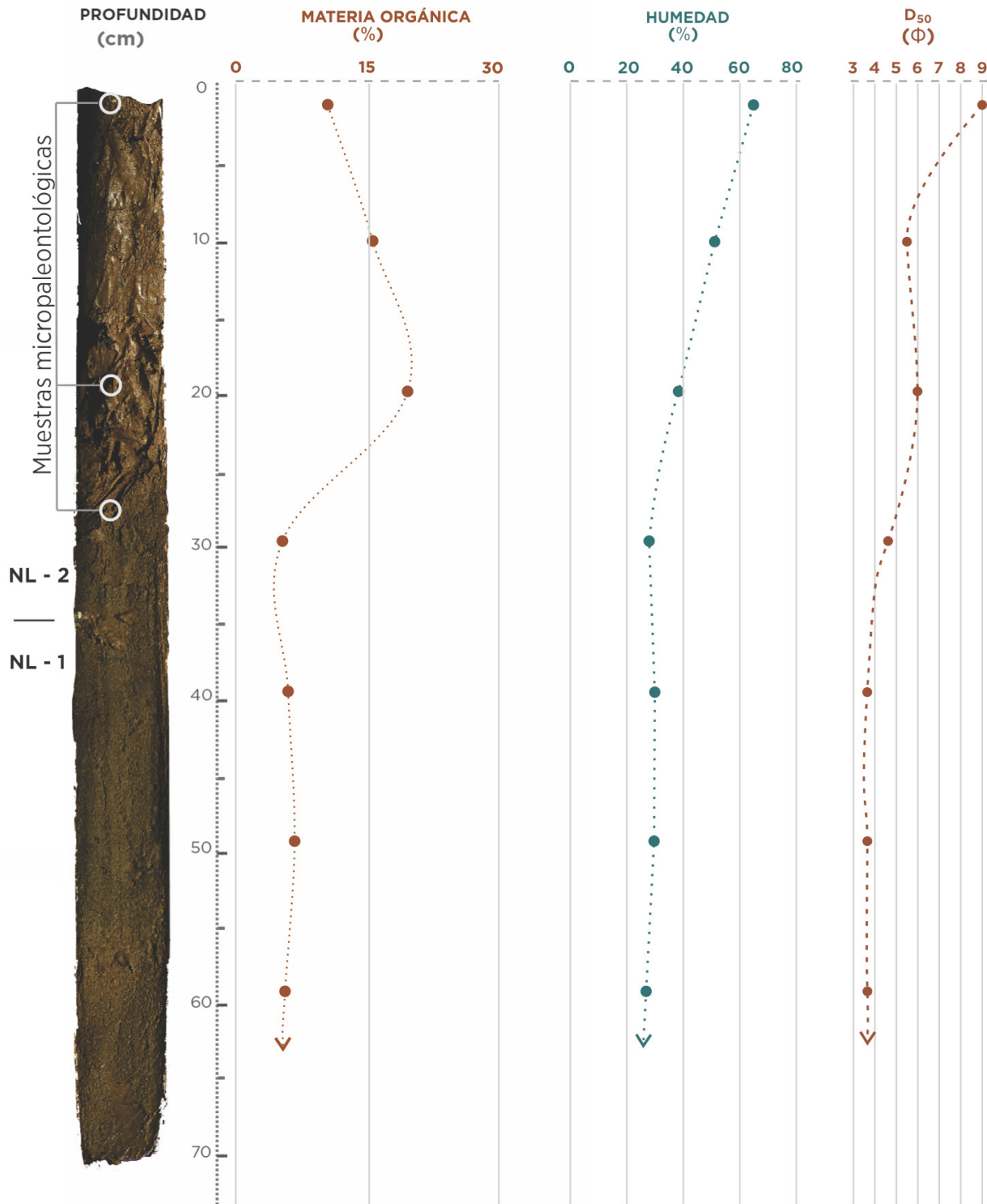
*Intervalo NL 2 - 35 a 0 cm.* En la base de este intervalo (primeros 5 cm) ocurre una transición granodecreciente desde el intervalo infrayacente, de arenas muy finas, hacia sedimentos fangosos ( $D_{50} \gg 4 \Phi$ ) grises y pútridos con restos de plantas. El intervalo alcanza valores de materia orgánica de hasta 15%. Los resultados del submuestreo micropaleobiológico realizado en este estrato indicaron ausencia de artrópodos y escasos registros de macrófitas en el nivel de arenas (26-28 cm) en contraste con una abundante presencia de raíces, restos de tejidos foliares y artrópodos presentes en las dos submuestras siguientes (18-20 y 0-2 cm).

Entre estos últimos, se destacó la presencia de larvas de quironómidos (Diptera Chironomidae, principalmente del género *Cricotopus*), ostrácodos (Ostracoda, Podocopida) y garrapatas (*Amblyomma triste*).

#### 4.3. INTERPRETACIÓN PALEOAMBIENTAL

Para interpretar los ambientes en los que se depositaron las distintas facies sedimentarias recuperadas en los núcleos de sedimentos resultó útil analizar el registro de fotografías aéreas históricas e imágenes satelitales del área estudiada que se presenta en la Figura 6. En esta figura se ilustra una evolución del área en 4 imágenes históricas representativas de dos etapas bien marcadas. La primera etapa (1965), previa a la construcción del polder y la formación de la albufera antropogénica, es de una planicie estuárica activa sujeta a las cambiantes condiciones hidrodinámicas del RdP. Las facies arenosas halladas en la parte inferior de ambos núcleos (NL - 1 y NE - 1) se asignan a esta primera etapa registrada en los núcleos y al Holoceno Tardío del área de estudio previo a la construcción del terraplén de relleno. Seguidamente (Figura 6, año 1976), se puede advertir el terraplén con forma de espiga ya construido y el consecuente inicio de la segunda etapa del área de estudio como un área polderizada en el que comenzó a desarrollarse la albufera antropogénica.



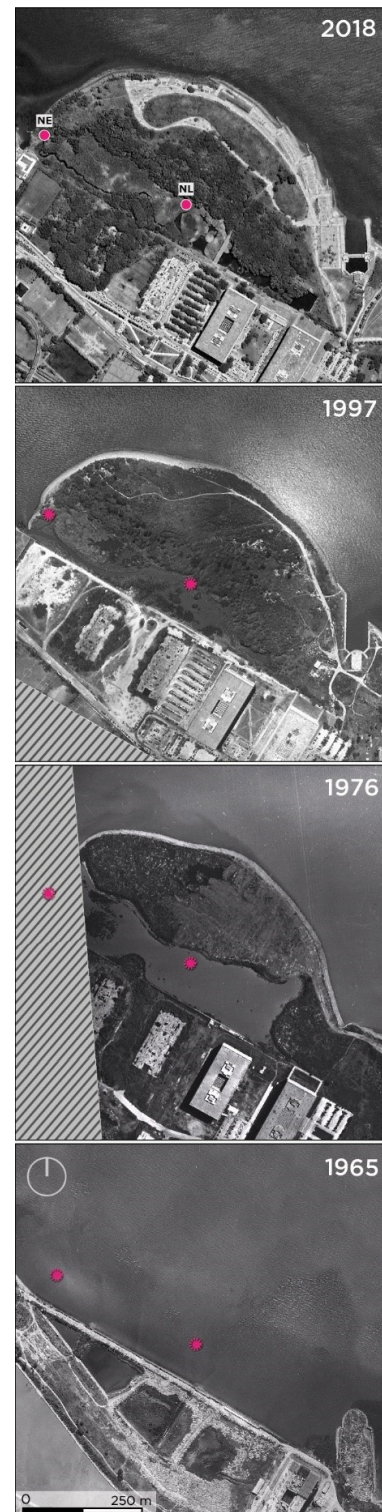


**Figura 5** Fotografía del núcleo sedimentario NL con las curvas de contenido porcentual de humedad, de materia orgánica ( $LOI_{550}$ ) y el valor de la mediana granulométrica ( $D_{50}$ ). Se encolumnan a la izquierda los intervalos sedimentarios descritos y se señalan los lugares donde se tomaron muestras micropaleontológicas.

Durante la temprana evolución de esta segunda etapa, el sistema presentaba una laguna albuferica con bancos depositados en cercanías del estrecho incipientemente estabilizados con vegetación. Los intervalos sedimentarios NE - 2 y NE - 3 que sobreyacen discordantes a las facies arenosas de planicie estuárica, son depósitos fangosos y conglomerádicos grisáceos respectivamente que se interpretan como la migración de sedimentos litoantrópicos desde la punta de la espiga hacia el estrecho, producto del lavado, retrabajo y deriva en eventos de sudestadas. En el NL, la construcción artificial de la espiga podría correlacionar con el cambio de facies arenosa a una fangosa, caracterizado por la transición de NL- 1 a NL-2.

Luego de la construcción de la espiga, se sucedieron casi 30 años sin nuevas intervenciones antropogénicas directas (Figura 6, año 1997). En esta imagen se puede advertir un cambio de textura en la parte interior de la albufera que indica el desarrollo de marismas de agua dulce y el inicio de la colmatación del sistema. En esta fase intermedia el sector del estrecho se encuentra parcialmente ocluido por la depositación de bancos en la punta de la espiga y un flujo canalizado que conecta las aguas del RdP con la laguna abuférica interior que se redujo en tamaño en dicho lapso.

En una fase más avanzada de colmatación (Figura 6, año 2018) las marismas avanzan sobre la laguna y se advierte que el flujo canalizado es ahora un delgado canal sinuoso bien definido entre la vegetación. Los intervalos sedimentarios NE - 4 y NL - 2 se asocian a estas fases de colmatación del sistema albuferico. Por su parte, en NE - 4 los depósitos limosos masivos con presencia de artefactos plásticos (bolsas de polietileno y restos de envases) se interpretan y asocian con años de activa depositación producto de crecidas extraordinarias del río Paraná y el consecuente aporte de sedimentos de la planicie estuárica del RdP, mientras que, las intercalaciones de horizontes más oscuros ricos en materia orgánica se interpretan como ciclos de bajo aporte sedimentario desde el RdP. Por otra parte, hacia el techo del núcleo, los depósitos fangosos ricos en materia orgánica del



**Figura 6** Evolución geomorfológica del área de estudio analizada para interpretar el registro obtenido en los núcleos sedimentario. Se indican con líneas diagonales sectores de imágenes no disponibles. Fuentes: 1965, 1976 y 1997 fotografías aéreas del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires.

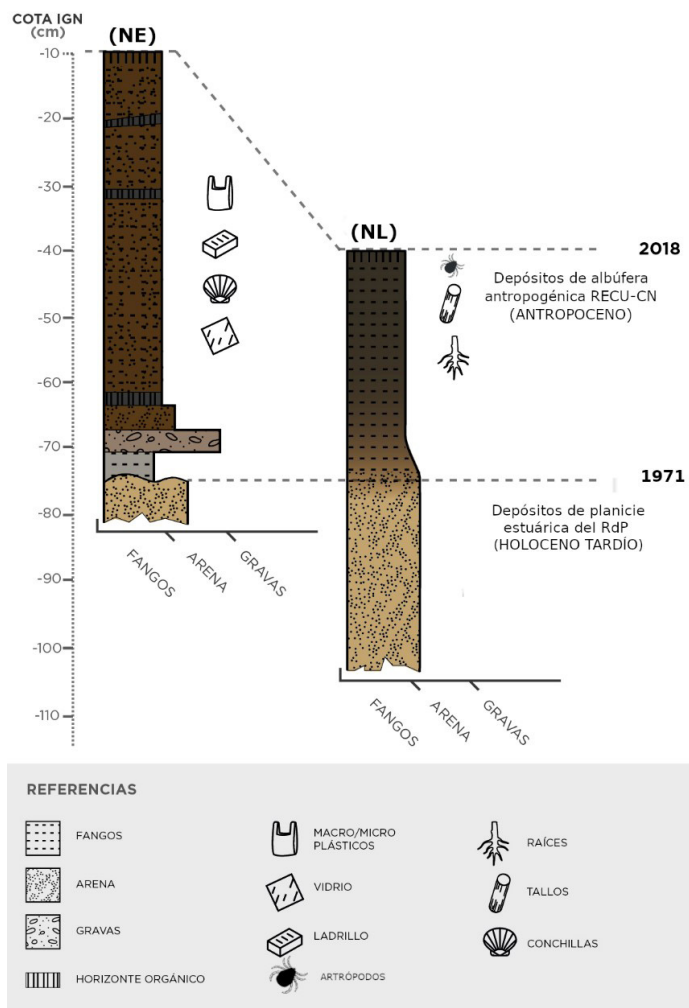
intervalo NL – 2 y la aparición de microfósiles característicos de aguas con baja circulación, y que por tanto habrían vivido en el sitio, representan la paulatina colmatación de la laguna albuférica y su eutrofización.

## 5. Discusión

### 5.1. ESTRATIGRAFÍA Y TASAS DE ACRECIÓN VERTICAL

Siguiendo las dos etapas observadas en la evolución geomorfológica, los intervalos sedimentarios registrados en los núcleos sedimentarios pueden

también agruparse en dos unidades estratigráficas (Figura 7): la planicie estuárica existente antes de la construcción del terraplén (Holoceno Tardío) y la albufera antropogénica, formada en la segunda mitad del siglo XX (Antropoceno). La asignación de estos últimos depósitos albufericos al Antropoceno (Crutzen, 2002; Steffen *et al.*, 2015; Edgeworth *et al.*, 2015) sigue las propuestas de Gómez Samus *et al.* (2020) y Marcomini y Lopez (2021) quienes han utilizado, anteriormente, esta unidad estratigráfica para rellenos litoantrópicos en la franja costera rioplatense. Una vez realizada esta interpretación puede determinarse que los espesores de la unidad antropocena acumulada en casi 50 años de historia de la albufera van de 35 a 60 cm.



**Figura 7** Correlación estratigráfica de las unidades sedimentarias hallados en los núcleos. Las columnas se representan acotadas por debajo del nivel cero del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Así, las tasas de acreción vertical que se obtienen son de 0,7 cm por año para los depósitos fangosos de la laguna albufera situada en el interior del área polderizada (NL), y de 1,2 cm por año para la acumulación en el sector del estrecho (NE) ubicado en la boca de la albufera.

## 5.2. EVOLUCIÓN PALEOAMBIENTAL

La evolución con tendencia a la colmatación descrita para la albufera antropogénica de la RECU-CN concuerda con el contexto progradante delta del río Paraná en las cabeceras del estuario (Sarubbi, 2007; Medina y Codignotto, 2013, Marcomini *et al.*, 2018; Quesada, 2019). La adquisición de núcleos sedimentarios realizada en este trabajo ha permitido agregar una caracterización sedimentológica y una estimación de velocidades de acreción vertical a los procesos geomorfológicos de desarrollo de marismas previamente descriptos por Marcomini y López (2004) para distintos pólderes de la costa de Buenos Aires.

Las tasas de acreción vertical reportadas en este trabajo son las primeras que se obtienen para el ámbito de la costa de la CABA. No obstante, es necesario realizar algunas consideraciones sobre las interpretaciones paleoambientales y morfo-sedimentarias realizadas sobre la fecha aproximada de construcción del terraplén. El cambio de condiciones de aguas abiertas, estuarinas, a restringidas resulta evidente en el registro sedimentario recuperado en el interior de la albufera (NL). El cambio de una litofacies arenosa con bajo contenido de materia orgánica a una litofacies fangosa pútrida, en este sitio de muestreo únicamente afectado por la restricción de circulación que generó la polderización del sistema, no admite dudas en relación a la interpretación realizada: la unidad inferior es representativa de la planicie estuárica que se depositaba en el sitio previo a la construcción del terraplén.

Cabe notar, no obstante, que la transición gradodecreciente de NL - 1 a NL - 2 que ocurre entre los 30 y 20 cm de profundidad de dicho núcleo, indicaría que la restricción en la circulación del

agua habría sido gradual y que, luego, el estancamiento de las aguas dentro de la albufera se habría ido incrementando con la expansión de las marismas de agua dulce sobre la laguna interior. Los análisis micropaleobiológicos del intervalo NL - 2 indican que hacia la base de este (entre los 26 y 20 cm de profundidad) aumentó la riqueza específica y densidad poblacional de macrófitas y artrópodos. Inclusive, el registro de la garrapata *Amblyomma triste* también constituye un indicador de la presencia de vegetación herbácea (Serra-Freire y Leal, 2009). Estos hallazgos permiten interpretar que este intervalo representa no solo una circulación de agua más restringida, sino también, el establecimiento de comunidades vegetales y el inicio de la colmatación del sistema. Como parte de este proceso de colmatación la elevada cantidad de materia orgánica encontrada en este intervalo podría explicarse por la degradación in situ de plantas acuáticas.

Aceptado el evidente cambio de ambiente que se registra en el NL, se puede inferir que el intervalo arenoso recuperado en la parte inferior del otro núcleo (NE - 1) también corresponde al ambiente estuarino que existió previo a la polderización del sistema. La similitud sedimentológica entre NE - 1 y NL - 1, observada por su misma granulometría y ausencia de estructuras sedimentarias, apoyan esta generalización. Es más, la estructura masiva en esta litofacies arenosa podría asociarse, tal como explican para el frente del delta Gallo *et al.* (2021), a la influencia de las tormentas (sudestadas) y el oleaje en el RdP que retrabaja sedimentos litorales que se depositan de forma rápida, por decantación, una vez que concluyen estos eventos.

Los intervalos NE - 2 (fango gris) y NE - 3 (arenas con gravas), que sobreyacen discordantes a las arenas estuarinas, conformarían una secuencia sedimentaria de origen antrópico que se asocia a sudestadas y la probable deriva de los sedimentos de relleno con los que se construyó el terraplén. Presumiendo que el sitio de muestreo NE no fue alterado directamente por el vuelco de rellenos, la secuencia podría haber sido; el arribo, en primer

lugar, de sedimentos fangosos grisáceos (TE – 2) cuyo color permitiría suponer que se movilizaron los sedimentos más finos del relleno, incluyendo material particulado cementicio (cemento de construcción tipo *portland*) que puede generarse en los vuelcos de escombros y, luego, en segundo lugar, el arribo más tardío al sector del estrecho de sedimentos más gruesos. Esta hipótesis, es plausible en particular para las arenas con gravas encontradas en donde el guijarro muy redondeado que se apoya en la base de este intervalo es, con muy alta probabilidad, un clasto que proviene de la erosión de los escombros de hormigón. Este tipo de clastos pueden verse hoy en día en las costas de relleno de la ciudad (Marcomini y López, 2021).

La estructura masiva del intervalo NE – 4 también indicaría que la acreción vertical ocurre de forma repentina en este sector del estrecho que representa la boca de la albufera asociado al cese de eventos de crecida. Si bien el RdP tiene una notable y prácticamente constante carga de limos en suspensión, la descarga sólida extraordinaria que sobreviene a los eventos ENSO más fuertes (Depetris y Gaiero, 1998) ha sido probablemente un factor determinante en la acumulación de este sector. Las intercalaciones más oscuras podrían explicarse como el registro que dejarían los infrecuentes eventos de bajadas de “camalotales” considerando que estas plantas retienen sedimentos en cantidades de hasta 1,3 kg por m<sup>2</sup> (Poi, 2016), y que la albufera antropogénica supone un excelente sitio para el estacionamiento y degradación *in situ* de estas plantas acuáticas flotantes que arriban desde el río Paraná.

En relación al año de construcción de la albufera antropogénica, tal como se aprecia en la serie fotográfica de la Figura 6, el terraplén estaba completamente ausente en 1965 y completamente construido 9 años después, en la imagen del año 1976. Si bien la construcción pudo haber comenzado algunos años antes y finalizado algunos años después, se optó por establecer un valor medio, el año 1971 con una incertidumbre de  $\pm 5$  años como el momento en el que se modificaron las condiciones hidrodinámicas de circulación abierta

estuariales, a restringidas de tipo albuféricas. Más allá de la interpretación morfosedimentaria realizada y la fecha de construcción aproximada, dos hechos terminan de sostener las tasas de acreción vertical obtenidas. Por un lado, la mayor sedimentación ocurrida en el sector por donde ingresan los sedimentos, es consistente con lo encontrado por Friedrichs y Perry (2001) en otras marismas. Por otro lado, los valores resultantes en este trabajo se encuentran dentro del rango de valores de tasa de acreción vertical, y ligeramente por debajo del valor medio, obtenidos por Schuerch *et al.* (2016) en el muy constructivo frente del delta del Paraná ubicado 10 km al norte de la zona estudio en las cabeceras del RdP.

Finalmente, para comprender el futuro de los ambientes de la albufera de la RECU-CN y diseñar un manejo de la reserva costera acorde, cabe mencionar que las tasas de acreción vertical obtenidas superan holgadamente los valores de elevación del nivel del agua del estuario (Lanfredi *et al.*, 1998; Cavallotto *et al.*, 2004; D’Onofrio *et al.*, 2008). Por ello, se espera que la evolución del sistema tienda a una completa colmatación de la albufera, el desarrollo de marismas altas y el reemplazo de toda la superficie de agua libre por plantas de humedal predominantemente enraizadas.

## 6. Conclusiones

En este trabajo se obtuvieron núcleos sedimentarios de una albufera antropogénica construida a principios de la década del 1970 en las costas de la CABA. El registro obtenido con los núcleos pudo interpretarse mediante imágenes aéreas históricas estableciendo una evolución morfosedimentaria para la zona de estudio. Los intervalos sedimentarios registrados en los núcleos se dividieron en dos unidades. Una unidad basal de arenas masivas holocenas tardías muy finas -prealbuféricas- depositadas en la planicie estuárica del RdP y, por encima, depósitos fangosos de la albufera antropogénica, con abundante materia orgánica, artefactos líticos y plásticos.

Las tasas de acreción vertical sedimentarias inferidas a partir de esta interpretación estratigráfica verifican que la mayor acumulación ocurre en la zona por donde ingresan los sedimentos. Los valores obtenidos fueron de 1,2 cm por año para los bancos de la boca de la albufera y de 0,7 cm por año para el subambiente pantanoso de la laguna interior. Estos valores de acreción vertical son los primeros informados para la costa de la ciudad de Buenos Aires y son consistentes con valores obtenidos en otros subambientes del RdP.

En el presente caso de estudio, se observó la acumulación de artefactos líticos y plásticos en el registro sedimentario de un humedal costero antropogénico. Se espera que la evolución paleoambiental descripta y las tasas de acreción obtenidas constituyan un aporte a la gestión ambiental de la Reserva Ecológica Ciudad Universitaria - Costanera Norte.

## Contribuciones de los autores

*Conceptualización:* A.Q., H.S. *Análisis o adquisición de datos:* A.Q., H.S., R.S.M., V.K. *Desarrollo metodológico/técnico:* A.Q. *Redacción del manuscrito original:* A.Q., H.S., R.S.M y V.K. *Redacción del manuscrito corregido y editado:* A.Q., H.S. *Diseño gráfico:* A.Q., H.S. *Trabajo de campo:* A.Q., H.S. *Interpretación:* A.Q. *Financiamiento:* H.S.

## Financiamiento

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires (FCEN-UBA).

## Agradecimientos

La presente investigación se realizó en el marco del diagnóstico de situación y recomendaciones para la implementación de un plan de manejo de la RECU-CN, que llevó a cabo la FCEN-UBA (Sirolli *et al.*, 2018). Agradecemos los comentarios

y sugerencias que realizó al manuscrito Dayenari Caballero Rodríguez. Dedicamos la contribución a la memoria del Dr. Fabio Kalesnik (1966-2017), docente e investigador especialista en humedales del Delta del Paraná.

## Conflicto de intereses

Se declara que no existe algún conflicto de interés.

## Referencias

- Athor, J., 2012, Buenos Aires, la historia de su paisaje natural. 1ra ed: Buenos Aires: Fundación de Historia Natural Félix de Azara, 480 p.
- Balay, M. A., 1961, El Río de la Plata entre la atmósfera y el mar: Publicación H-621: Buenos Aires, Servicio de Hidrografía Naval, Armada Argentina, 153 p.
- Bellucci, L. G., Giuliani, S., Mugnai, C., Frignani, M., Paolucci, D., Albertazzi, S., Fernandez, A.C.R., 2009, Anthropogenic metal delivery in sediments of Porto Marghera and Venice Lagoon (Italy): Soil and sediment contamination: An International Journal, 19(1), 42–57. <https://doi.org/10.1080/15320380903390562>
- Bouyoucos, G. J., 1962, Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils: Agronomy Journal, 54, 464-465. <https://doi.org/10.2134/agronj1962.00021962005400050028x>
- Brailovsky, A. E., 2018, Historia ecológica de la Ciudad de Buenos Aires: Buenos Aires, MAIPUE, 504 p.
- Cavallotto, J. L., Violante, R. A., 2005, Geología y geomorfología del Río de la Plata, en XVI Congreso Geológico Argentino: Relatorio, geología y recursos minerales de la Provincia de Buenos Aires: La Plata, Universidad de La Plata, Asociación Geológica Argentina, 237-253.

- Cavallotto, J. L., Violante, R. A., Parker, G., 2004, Sea-level fluctuations during the last 8600 years in the de la Plata river (Argentina): *Quaternary International*, 114(1),155-165. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(03\)00050-8](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(03)00050-8)
- Crutzen, P.J., 2002, *Geology of mankind: Nature* 415, 23. <https://doi.org/10.1038/415023a>
- Day, P. R., 1965, Particle fractionation and particle-size analysis, in Black, C.A. (ed.), *Methods of soil analysis: Part 1 physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*, 9: USA, Wiley, 545-567. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.1.c43>
- Depetris, P. J., Gaiero, D. M., 1998, Water-surface slope, total suspended sediment and particulate organic carbon variability in the Parana River during extreme flooding: *Naturwissenschaften*, 85(1), 26-28. <https://doi.org/10.1007/s001140050445>
- D'Onofrio, E. E., Fiore, M. M.E., Pousa, J. L., 2008, Changes in the regime of storm surges at Buenos Aires, Argentina: *Journal of Coastal Research* 24(1), 260-265. <https://doi.org/10.2112/05-0588.1>
- Edgeworth, M., deB Richter, D., Waters, C., Haff, P., Neal, C. Price S. J., 2015, Diachronous beginnings of the Anthropocene: The lower bounding surface of anthropogenic deposits: *The Anthropocene Review*, 2(1), 33-58. <https://doi.org/10.1177/2053019614565394>
- Folk, R. L., Ward, W. C., 1957, Brazos River Bar: A study in the significance of grain size parameters: *Journal of Sedimentary Petrology*, 27(1), 3-26. <https://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D>
- Friedrichs, C. T., Perry J. E., 2001, Tidal salt marsh morphodynamics: a synthesis: *Journal of Coastal Research*, 7-37.
- Gallo, M., Tripaldi, A., López, R.A, Marcomini, S.C, Orgeira, M.J., 2021, Facies sedimentarias del frente de progradación del delta del Río Paraná, estuario del Río de la Plata, Sudamérica: *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, 28(1), 61-90.
- Gee, G.W., Bauder, J. W., 1986, Particle-size analysis, en Klute A.(ed.), *Methods of soil analysis. Physical and mineralogical methods*, Agronomy Monograph 9 (2ed): Madison, American Society of Agronomy, 383-411. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c15>
- Gómez Samus, M., Olivo, M., Rico, Y., Cellone, F., Bidegain, J., 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.
- Heiri, O., Lotter, A. F., Lemcke, G., 2001, Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: Reproducibility and comparability of results: *Journal of Paleolimnology*, 25, 101-110. <https://doi.org/10.1023/A:1008119611481>
- Lanfredi, N. W., Pousa, J. L., D'Onofrio, E.E., 1998, Sea-level rise and related potential hazards on the Argentine coast: *Journal of Coastal Research*, 14(1), 47-60.
- Marcomini, S. C., López, R. A., 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., López, R. A, 2011, Historia de la costa de Bueno Aires: *Ciencia Hoy*, 21 (123), 41-48.
- Marcomini, S. C., López, R. A., 2021, Dinámica morfosedimentaria de las playas antrópicas de la Ciudad de Buenos Aires. ¿posibles registros costeros del Antropoceno?: *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 78(1), 61-74.
- Marcomini, S. C., Tripaldi, A., Leal, P., López, R., Alonso, M. S., Ciccioli, P. L., Quesada,

- A. Bunicontro, P., 2018, Morfodinámica y sedimentación de un sector del frente deltaico del Paraná entre los años 1933 y 2016, provincia de Buenos Aires, Argentina: *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 75,1-16.
- Medina, R., Codignotto, J., 2013, Evolución del delta del río Paraná y su posible vinculación con el calentamiento global: *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales nueva serie* 15(2), 191–200.
- Melzi Fiorenza, R., Sirolli, H., Picca, P. I., 2020, Vegetación de un área polderizada del Río de la Plata en la Ciudad de Buenos Aires: *La Reserva Ecológica Ciudad Universitaria - Costanera Norte. Darwiniana, nueva serie*, 8(2), 460–478. <https://doi.org/10.14522/darwiniana.2020.82.908>
- Munsell, 2000, Munsell soil color charts: Michigan, USA, Munsell color. 1–29.
- Nabel, P. E., Serial Becerra, M. R., 2008, Uso de técnicas geomáticas para el mapeo y caracterización de unidades geomórficas de la Ciudad de Buenos Aires (Argentina) mediante interpretación visual de parámetros morfométricos: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 60(2),173-185. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2008v60n2a3>
- Parker, G., 1990, Estratigrafía del Río de la Plata: *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 45(3-4), 193-204.
- Poi, A., 2016, Camalotes: Historia natural de una planta viajera: *Ciencia Hoy*, (25) 150, 31-35.
- Prezzi, C., López, R. A., Vásquez, C., Marcomini, S. C., Fazzito, S., 2011, Caracterización geofísica de zonas de relleno en la costa de la Ciudad de Buenos Aires: estudio piloto en ciudad universitaria: *Geoacta*, 36(1), 77-95.
- Quesada, A., 2019, Geomorfología ambiental de la Primera Sección del delta del río Paraná: erosión (natural y antrópica) en los canales distributarios y manejo de sus márgenes: Argentina, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Tesis Doctoral, 232 p.
- Ruiz-Fernández, A. C., Frignani, M., Tesi, T., Bojórquez-Leyva, H., Bellucci, L. G., Páez-Osuna, F., 2007, Recent Sedimentary History of Organic Matter and Nutrient Accumulation in the Ohuira Lagoon, Northwestern Mexico: *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 53(2), 159–167. <http://dx.doi.org/10.1007/s00244-006-0122-3>
- Sarubbi, A., 2007, Análisis del avance del Frente del Delta del Río Paraná: Argentina, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Tesis Grado, 145p.
- Serra-Freire, N. M., Leal, A., 2009, Vertical dispersion and transference strategy of *Amblyomma triste* Koch, 1844 (Acari: Ixodidae) in nature, from vegetation to human host: *Revista Brasileira de Medicina Veterinaria*, 31(2),118-124.
- Schuerch, M., Scholten, J., Carretero, S., García-Rodríguez, F., Kumbier, K., Baechtiger, M. Liebetrau, V., 2016, The effect of long-term and decadal climate and hydrology variations on estuarine marsh dynamics: An identifying case study from the Río de la Plata: *Geomorphology* 269,122–132. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.06.029>
- Sirolli, H., de Miguel, A., Chaparro, G., 2018, Diagnóstico de situación y recomendaciones para la implementación de la Reserva Ecológica Ciudad Universitaria - Costanera Norte. Informe inédito: Argentina, Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. <https://exactas.uba.ar/reservaecologica-cu/informe>.
- Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O., Ludwig, C., 2015, The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration: *The Anthropocene Review*, 2,81-98. <https://doi.org/10.1177/2053019614564785>